



BioMEMS –Biological Micro-Electro-Mechanical Systems

| | | |
|--------------------|-----------------|-----------------------|
| <i>Όνομα</i> | <i>Γιάννης</i> | <i>Μαντώ</i> |
| <i>Επίθετο</i> | <i>Κίτσος</i> | <i>Γεωργακοπούλου</i> |
| <i>Αρ. Μητρώου</i> | <i>02109639</i> | <i>02109097</i> |

Μάθημα: Εμβιομηχανική και Βιοϊατρική τεχνολογία

Διδάσκων: κ. Αλεξόπουλος

Περιεχόμενα

| Τίτλος | σελ |
|---|-----|
| Περιεχόμενα | |
| Ορισμός- Γενικά στοιχεία | |
| BioMEMS-LOC-μTAS | |
| Υλικά κατασκευής (Πυρίτιο, Πολυμερή, Μέταλλα, Κεραμικά, Βιολογικά υλικά, Χαρτί, Electrokinetics, Microfluidics) | |
| Μέθοδοι κατασκευής | |
| Παράδειγμα κατασκευής-Πιεζοηλεκτρική αντλία | |
| Παράδειγμα κατασκευής-Θερμο-πνευματική αντλία | |
| Παράδειγμα κατασκευής-Ηλεκτρομαγνητική αντλία | |
| Συμπεράσματα παραδειγμάτων | |
| Βιοαισθητήρες (μηχανικοί, ηλεκτρικοί, οπτικοί) | |
| Θέση βιοαισθητήρων (τοπικοί, εξωτερικοί, εμφυτευμένοι) | |
| Εφαρμογές | |
| Νευρολογία | |
| Διάγνωση- Αντιμετώπιση ασθενειών | |
| Μικροχειρουργική | |
| Λήψη φαρμάκων | |
| Οπτική | |
| Καρδιολογία | |
| Ακουστική | |
| Microfluidics | |
| Πρωτεΐνες | |
| Βιοσυμβατότητα | |
| Κρανιακές βλάβες | |
| Εμβιομηχανική χόνδρου | |
| Σπονδυλική στήλη | |
| Περιβάλλον | |
| Ζητήματα εθνικής ασφάλειας | |
| Νομοθεσία για τη βιοσυμβατότητα των BioMEMS κατά ISO 10933 | |
| Οικονομικά Στοιχεία | |
| Μελλοντικές εφαρμογές: «Έξυπνος φακός επαφής» | |
| Μελλοντικές εφαρμογές: «Έξυπνα» ρολόγια χειρός | |
| Βιβλιογραφία | |

Ορισμός- Γενικά στοιχεία

Τα μικρο-ηλεκτρο-μηχανικά συστήματα (MEMS) χρησιμοποιούν την τεχνολογία των πολύ μικρών συσκευών (μικρο- κλίμακας (MEMS) ή νανο-κλίμακας (NEMS)). Τα συνήθη μεγέθη τους είναι από 20 μικρόμετρα έως 1 χιλιοστό του μέτρου. Τα MEMS είναι επίσης γνωστά στην Ιαπωνία ως μικρομηχανές (micromashines) και στην Ευρώπη ως τεχνολογία μικροσυστημάτων (micro systems technology- MST).

Συνήθως αποτελούνται από μία κεντρική μονάδα επεξεργασίας δεδομένων (microprocessor) και από πολύ μικρά στοιχεία-εξαρτήματα (της τάξης των 1 έως 100 μικρομέτρων) που αλληλεπιδρούν με τον περιβάλλοντα χώρο. Τέτοια στοιχεία είναι αισθητήρες, μετατροπείς, επενεργητές και ηλεκτρονικές συσκευές τα οποία αντιλαμβάνονται κάτι που συμβαίνει ή το κάνουν να συμβεί.

Η αξία των πολύ μικρών συσκευών ήταν μεγάλη πριν ακόμα αυτές γίνουν πραγματικότητα. Έγιναν όμως ευρέως γνωστές όταν τελικά μπόρεσαν να κατασκευαστούν.

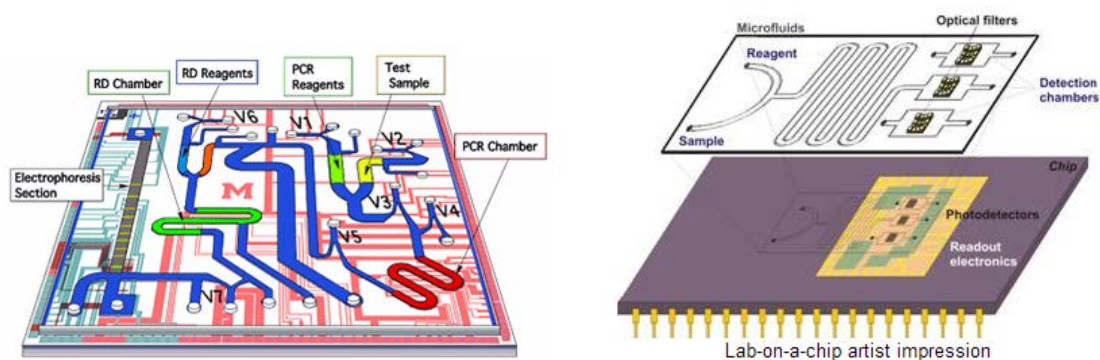
Τα βιολογικά ή βιοϊατρικά μικροηλεκτρομηχανικά συστήματα (BioMEMS) είναι στην ουσία MEMS που έχουν εφαρμογές ή λειτουργίες στην βιολογία και την ιατρική.

Η βιομηχανία των BioMEMS αυξάνεται με αλματώδεις ρυθμούς και δαπανώνται ολοένα και μεγαλύτερα ποσά στην έρευνα και κατασκευή τους. Συγκεκριμένα το 2003 διατέθηκαν 850 εκατομμύρια δολάρια και το 2006 ένα δισεκατομμύριο δολάρια.

BioMEMS-LOC-μTAS

Τα BioMEMS θεωρούνται πολλές φορές συνώνυμα με τα lab-on - a-chip (LOC) * και τα micro total analysis systems (μTAS)** . Στην πραγματικότητα όμως υπάρχουν διαφορές. Τα BioMEMS είναι στην ουσία περισσότερο επικεντρωμένα στα μηχανικά μέρη και στις τεχνολογίες μικροκατασκευής κατάλληλες για βιολογικές εφαρμογές. Από την άλλη πλευρά τα LOC ασχολούνται με τη σμίκρυνση των εργαστηριακών διαδικασιών (κυρίως microfluidics) και με πειράματα σε ενιαία τσιπ. Αυτές οι συσκευές δεν έχουν αυστηρά βιολογικές εφαρμογές , αν και οι περισσότερες προσαρμόζονται για βιολογικούς σκοπούς . Ούτε τα μTAS έχουν βιολογικές εφαρμογές αλλά είναι συνήθως προσανατολισμένα στη χημική ανάλυση.

*: Τα lab-on - a-chip (LOC) είναι συσκευές που ενσωματώνουν μία ή και περισσότερες εργαστηριακές λειτουργίες σε ένα ενιαίο chip μεγέθους από μερικά χιλιοστά του μέτρου μέχρι μερικά τετραγωνικά εκατοστά. Ασχολούνται κυρίως με τη διαχείριση εξαιρετικά μικρών όγκων ρευστού (λιγότερο από pico λίτρα). Είναι στενά συνδεδεμένες με την μικρορευστομηχανική που περιγράφει κυρίως την φυσική , τη διαχείριση και τη μελέτη των μικροσκοπικών ποσοτήτων ρευστού.

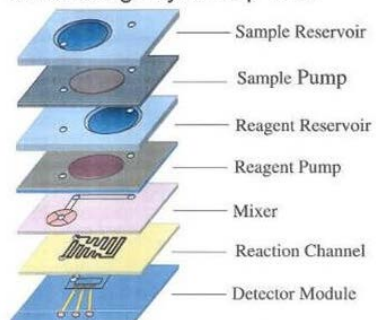


** : Τα total analysis systems (TAS) είναι συσκευές που αυτοματοποιούν και περιλαμβάνουν όλα τα απαραίτητα μέτρα για τη χημική ανάλυση ενός δείγματος (π.χ. δειγματοληψία, μεταφορά δειγμάτων, διήθηση, αραιώση, χημικές αντιδράσεις, διαχωρισμός και ανίχνευση.) Με την τεχνολογία των μTAS δύναται να συρρικνωθεί ένα ολόκληρο εργαστήριο σε ένα μόνο τσιπ. Λόγω του πολύ μικρού μεγέθους τους , ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να τοποθετηθεί κοντά σε μια θέση δειγματοληψίας και μπορεί να είναι πολύ αποδοτικό σε chip-τεχνολογίες .

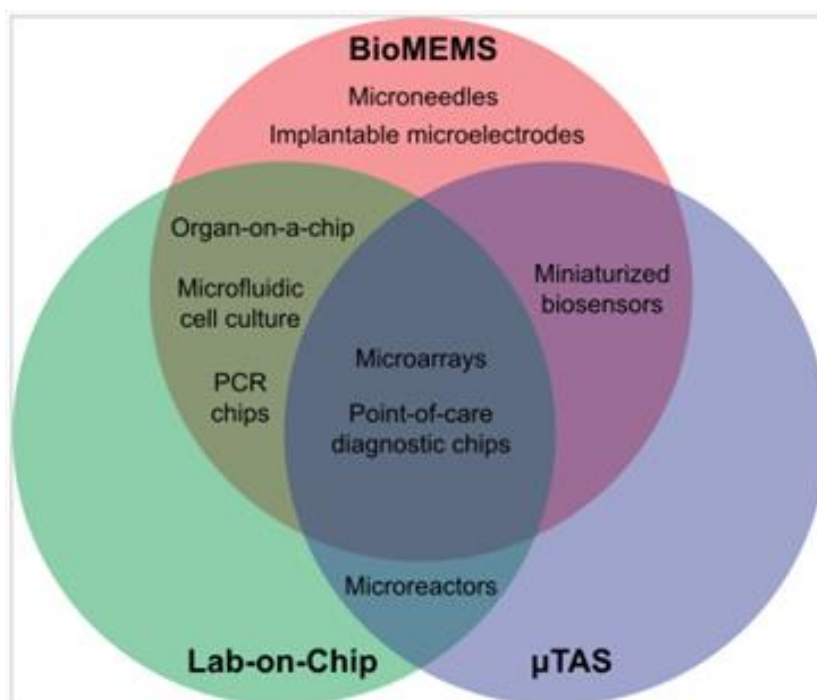


Micro Flow Cell

Assembling Layout of μ -TAS



Το παρακάτω χαρακτηριστικό διάγραμμα Venn απεικονίζει τα κοινά και μη πεδία εφαρμογής των BioMEMS, LOC και μ TAS:



Υλικά κατασκευής

Πυρίτιο: Είναι το υλικό που χρησιμοποιείται κατά κόρον στα περισσότερα ολοκληρωμένα κυκλώματα που υφίστανται στα ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης στη σύγχρονη βιομηχανία. Οι οικονομίες κλίμακας, η άμεση διαθεσιμότητα των φτηνών υλικών υψηλής ποιότητας και η λειτουργικότητα κάνουν το πυρίτιο ελκυστικό για μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών MEMS. Έχει επίσης σημαντικά πλεονεκτήματα που δημιουργούνται μέσα από τις ιδιότητες του υλικού του. Σε μονή κρυσταλλική μορφή, το πυρίτιο είναι ένα υλικό που υπακούει στο νόμο του Hook, πράγμα που σημαίνει ότι όταν κάμπτεται δεν υπάρχει ουσιαστικά υστέρηση και ως εκ τούτου σχεδόν καθόλου διάχυση της ενέργειας. Όσον αφορά την επαναλαμβανόμενη κίνηση, το πυρίτιο αποτελεί επίσης μια αξιόπιστη επιλογή διότι επιφέρει πολύ μικρή κόπωση και η διάρκεια ζωής του μπορεί να φτάσει τους ένα δισεκατομμύριο ή ακόμα και ένα τρισεκατομμύριο κύκλους. Συμβατικές τεχνικές μικρομηχανικής (όπως υγρή, ξηρή ή βαθιά εγχάραξη δραστικών ιόντων, επιμετάλλωση, ανοδική συγκόλληση και συγκόλληση σύντηξης) έχουν χρησιμοποιηθεί σε BioMEMS για να κατασκευαστούν κανάλια και αισθητήρες ροής, χημικοί ανιχνευτές, μίξερ, φίλτρα, αντλίες και βαλβίδες. Ωστόσο, υπάρχουν κάποια μειονεκτήματα στη χρήση συσκευών που βασίζονται στο πυρίτιο σε βιοϊατρικές εφαρμογές, όπως το υψηλό κόστος και η βιολογική ασυμβατότητα τους. Τα BioMEMS που χρησιμοποιούν πυρίτιο μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να ελαχιστοποιηθεί η πρωτεϊνική προσρόφηση*.

*: Ο όρος προσρόφηση χρησιμοποιείται, για να περιγράψει τη συσσώρευση διαλυμένων ιόντων, ατόμων ή και μορίων στη διεπιφάνεια στερεού-υγρού ή στερεού-αερίου, με αποτέλεσμα την κατανομή των μορίων μεταξύ στερεού και ρευστού. Προσρόφηση πρωτεΐνης είναι ένα κρίσιμο φαινόμενο που περιγράφει τη συσσωμάτωση των μορίων στο εξωτερικό ενός υλικού. Η τάση των πρωτεϊνών να παραμένουν προσκολλημένες σε μια επιφάνεια εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις ιδιότητες του υλικού (επιφανειακή ενέργεια, υφή, σχετική κατανομή φορτίου).

Πολυμερή: Ακόμα και αν το κρυσταλλικό πυρίτιο εξακολουθεί να είναι ένα πολύπλοκο και σχετικά ακριβό υλικό για να παραχθεί, τα πολυμερή από την άλλη πλευρά μπορούν να παράγονται σε τεράστιες ποσότητες, με μια μεγάλη ποικιλία χαρακτηριστικών των υλικών είναι συμβατά με μικρομηχανές και έχουν χαμηλό κόστος. Οι MEMS συσκευές μπορούν να κατασκευαστούν από πολυμερή με μεθόδους όπως χύτευση, έγχυση, αποτύπωση ή στερεολιθογραφία* και είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για microfluidic εφαρμογές. Πολλά πολυμερή είναι επίσης οπτικά διαφανή και μπορούν να ενσωματωθούν σε συστήματα που χρησιμοποιούν τεχνικές οπτικής ανίχνευσης (όπως φθορισμό, απορρόφηση). Επιπλέον, πολλά πολυμερή είναι βιολογικά συμβατά, χημικά αδρανή σε διαλύτες και ηλεκτρικά μονωτικά για εφαρμογές όπου ισχυρά ηλεκτρικά πεδία είναι απαραίτητα. Η χημεία

των πολυμερών μπορεί επίσης να τροποποιηθεί για συγκεκριμένες εφαρμογές. Τα πιο κοινά πολυμερή που χρησιμοποιούνται σε BioMEMS είναι Polymethyl methacrylate (PMMA), Polydimethylsiloxane (PDMS) και SU-8 Photoresist.

*: Η στερεολιθογραφία θεωρείται η ακριβέστερη μέθοδος υλοποίησης τρισδιάστατων αντικειμένων, ωστόσο αποτελεί και την ακριβότερη. Το κόστος μιας τέτοιας μηχανής ξεπερνά τα 200.000€. Ακριβή είναι και η πρώτη ύλη κατασκευής των μοντέλων, με την τιμή τους να κυμαίνεται στα 200€ ανά λίτρο φωτοπολυμερούς.

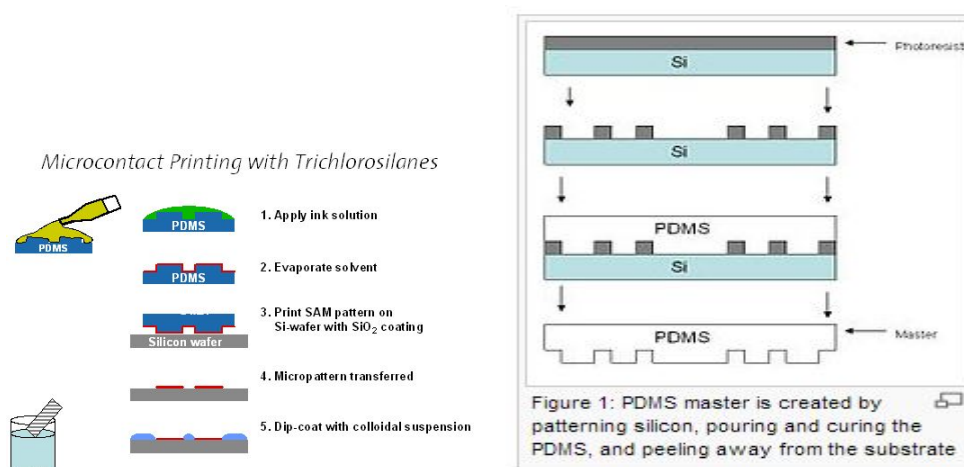
Μέταλλα: Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να κατασκευαστούν MEMS στοιχεία. Ενώ τα μέταλλα δεν έχουν τα πλεονεκτήματα που εμφανίζονται από το πυρίτιο (από την άποψη των μηχανικών ιδιοτήτων) όταν χρησιμοποιούνται εντός των περιορισμών τους, μπορεί να εμφανίζουν πολύ υψηλούς βαθμούς αξιοπιστίας. Μέταλλα μπορεί να αποτίθενται στην ηλεκτρολυτική επιμετάλλωση, στην εξάτμιση και σε διαδικασίες επιμετάλλωσης. Χρησιμοποιούνται συνήθως: χρυσός, νικέλιο, αλουμίνιο, χαλκός, χρώμιο, τιτάνιο, βολφράμιο, λευκόχρυσος και ασήμι.

Κεραμικά: Τα νιτρίδια του πυριτίου, αργιλίου και τιτανίου καθώς και καρβίδιο του πυριτίου και άλλα κεραμικά εφαρμόζονται όλο και περισσότερο σε MEMS κατασκευές λόγω των πλεονεκτικών συνδυασμών των ιδιοτήτων του υλικού. Το αζόρ αργίλιο κρυσταλλώνεται σε δομή βουρτσίτη* και έτσι δείχνει πυροηλεκτρικές και πιεζοηλεκτρικές ιδιότητες (π.χ. ενεργοποιούν αισθητήρες με ευαισθησία σε ορθές και διατμητικές τάσεις). Ο κασσίτερος, από την άλλη πλευρά, παρουσιάζει μια υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα και μεγάλο μέτρο ελαστικότητας που επιτρέπει να κατασκευάσουμε ηλεκτροστατικά MEMS συστήματα ενεργοποίησης με υπέρλεπτες μεμβράνες. Επιπλέον, η υψηλή αντίσταση του κασσίτερου στη βιολογική οξείδωση τον κάνει κατάλληλο για εφαρμογές σε περιβάλλοντα βιογενών και σε βιοαισθητήρες.

*: Ο βουρτσίτης είναι θειούχο ορυκτό ψευδαργύρου και σιδήρου.

Βιολογικά υλικά: Μικροσκοπική σχηματοποίηση των βιολογικών υλικών (πρωτεϊνών, κυττάρων και ιστών) έχει χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη α) των κυττάρων με βάση συστοιχίες, β) μικροσυστοιχιών, γ) μικροκατασκευών που βασίζονται στη μηχανική των ιστών και δ) τεχνητών οργάνων. Βιολογικές μικροδιατάξεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενιαία ανάλυση των κυττάρων, τον ακριβή έλεγχο του κυτταρικού μικροπεριβάλλοντος καθώς επίσης και για την ελεγχόμενη ενσωμάτωση των κυττάρων σε κατάλληλες πολυκυτταρικές αρχιτεκτονικές συνθήκες. Η φωτολιθογραφία, η microcontact εκτύπωση, η επιλεκτική microfluidic παράδοση και τα αυτοσυναρμολογούμενα μονοστρώματα είναι μερικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται ως υπόδειγμα βιολογικών μορίων πάνω σε επιφάνειες. Το micropatterning κυττάρων μπορεί να γίνει

χρησιμοποιώντας microcontact patterning εξωκυτταρικών πρωτεϊνών μήτρας, κυτταρική ηλεκτροφόρηση, συστοιχίες οπτικών λαβίδα , διαηλεκτροφόρηση και ηλεκτροχημικώς ενεργές επιφάνειες.

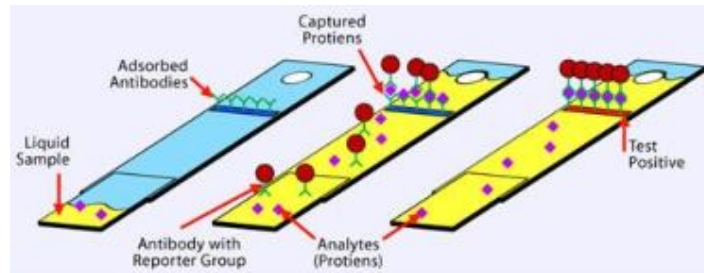


(PDMS: polydimethylsiloxane)

Χαρτί: Paper microfluidics (ή αλλιώς lab on paper) είναι η χρήση των χάρτινων υποστρωμάτων στις μικροκατασκευές έτσι ώστε να μπορεί η ροή του ρευστού για διάφορες εφαρμογές να είναι διαχειρίσιμη. Τα paper microfluidics έχουν εφαρμοστεί σε ηλεκτροφόρηση* με χαρτί και ανοσολογικές δοκιμασίες. Η πιο αξιοσημείωτη εφαρμογή του είναι σε test εγκυμοσύνης. Το πρώτο** ήταν το Clear Blue από την εταιρεία Swiss Precision Diagnostics που κυκλοφόρησε για πρώτη φορά στην Αγγλία το 1985. Μερικά από τα πλεονεκτήματα της χρήσης χαρτιού σε συσκευές BioMEMS είναι το χαμηλό κόστος, και η βιοδιασπασιμότητά του. Η χρήση χαρτιού είναι προσιτή στην εισαγωγή του δείγματος (τα υγρά του σώματος ή του εδάφους) καθώς και οι φυσικές ιδιότητες φιλτραρίσματος (που περιλαμβάνουν κυτταρικά, βρωμιά, και άλλες προσμείξεις στα δείγματα). Οι τεχνικές για micropatterning χαρτιού περιλαμβάνουν φωτολιθογραφία, κοπή με λέιζερ, εκτύπωση ψεκασμού μελάνης, επεξεργασία πλάσματος και διαμόρφωση κεριού.

*: Ηλεκτροφόρηση είναι η ηλεκτροχημική μέθοδος διαχωρισμού ηλεκτρικά φορτισμένων σωματιδίων από ένα μίγμα τους. Διοχετεύεται ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα μέσο (εν προκειμένω χαρτί) που πάνω του έχει τοποθετηθεί το προς ανάλυση δείγμα.

** : Στην πραγματικότητα το πρώτο test εγκυμοσύνης κατασκευάστηκε το 1930. Αλλά το Clear Blue ήταν το πρώτο που χρησιμοποίησε ως υλικό το χαρτί.



Electrokinetics: Έχουν αξιοποιηθεί σε BioMEMS για το διαχωρισμό μιγμάτων μορίων και των κυττάρων με τη χρήση ηλεκτρικών πεδίων. Στην ηλεκτροφόρηση ένα φορτισμένο σωματίδιο κινείται σε ένα υγρό υπό την επίδραση ενός ηλεκτρικού πεδίου. Έχει χρησιμοποιηθεί για την κατηγοριοποίηση μικρών ιόντων, φορτισμένων μορίων, πρωτεϊνών και DNA. Στην ηλεκτροφόρηση και τη μικρορευστομηχανική είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν υψηλότερες τάσεις σε μικροκανάλια λόγω της ταχύτερης απομάκρυνσης θερμότητας. Η επικέντρωση του ενδιαφέροντος στα electrokinetics οφείλεται στο γεγονός ότι η ηλεκτροφορητική δύναμη προκαλεί κάθετη μετακίνηση καθώς ρέει κατά μήκος των ισοηλεκτρικών σημείων της. Η διαηλεκτροφόρηση είναι η κίνηση των αφόρτιστων σωματιδίων λόγω επαγόμενης πόλωσης από ανομοιόμορφα ηλεκτρικά πεδία. Η τελευταία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε BioMEMS για τις παγίδες, συμπύκνωση ειδικών σωματιδίων σε συγκεκριμένα σημεία στις επιφάνειες και εκτροπή σωματιδίων από ένα ρεύμα ροής στο άλλο για δυναμική συγκέντρωση.

Microfluidics: Αναφέρονται σε BioMEMS που διαχειρίζονται ρευστά σε ποσότητες της τάξης των 10^{-9} έως 10^{-18} λίτρων. Τα κύρια πλεονεκτήματά τους είναι:

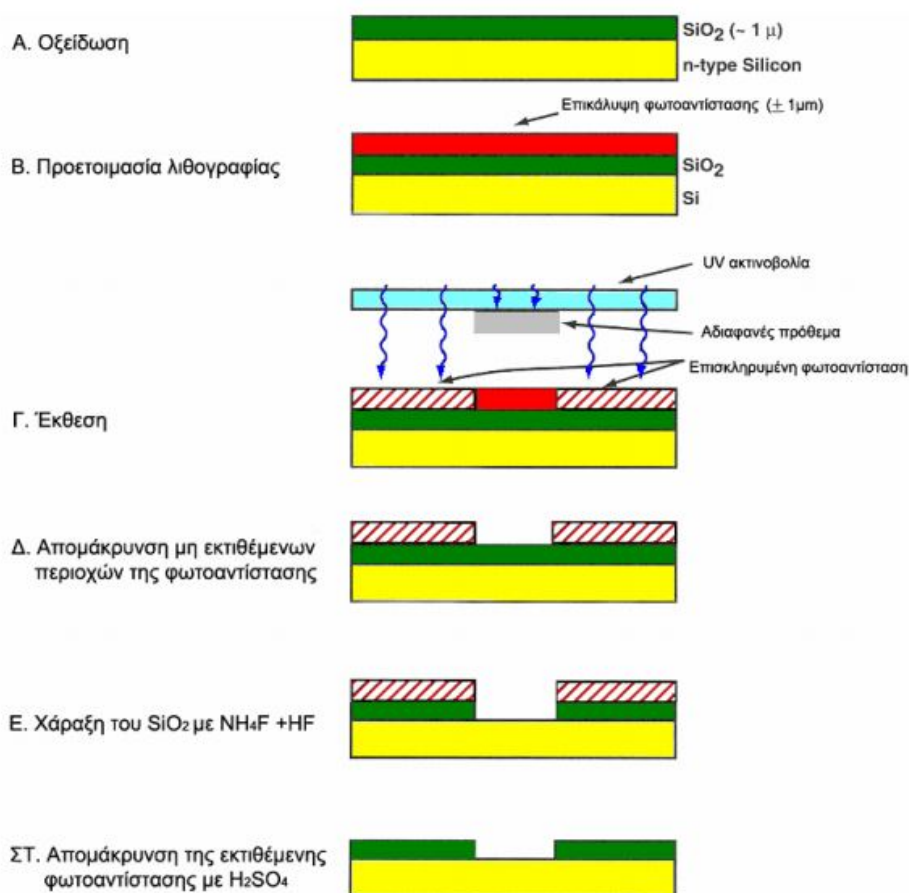
- Η στρωτή ροή που επικρατεί στα μικροκανάλια επιτρέπει τη μαθηματική μοντελοποίηση των προτύπων ροής και συγκέντρωσης και ποσοτικές προβλέψεις του βιολογικού περιβάλλοντος των κυττάρων και των βιοχημικών αντιδράσεων.
- Μπορούν να κατασκευαστούν σε κυτταρική ή μικρότερη κλίμακα (πράγμα που επιτρέπει την έρευνα των κυτταρικών φαινομένων, τη κατηγοριοποίηση των μεμονωμένων κυττάρων και την ανακεφαλαίωση των φυσιολογικών παραμέτρων).
- Η ενσωμάτωση της μικροηλεκτρονικής, της μικρομηχανικής και της μικροοπτικής στην ίδια πλατφόρμα επιτρέπει τον αυτοματοποιημένο έλεγχο της συσκευής (μειώνοντας έτσι το ανθρώπινο λάθος και το λειτουργικό κόστος).
- Η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι σχετικά οικονομική λόγω της μαζικής κατασκευής σε παρτίδες και της υψηλής απόδοσης.

- Αυτές οι συσκευές καταναλώνουν πολύ μικρότερα ποσά των αντιδραστηρίων, (απαιτούν: μόνο μια μικρή ποσότητα του αναλυτή για την ανίχνευση χημικών, λιγότερο χρόνο για να ολοκληρωθούν οι διαδικασίες και οι αντιδράσεις και παράγει λιγότερα απορρίμματα από τις συμβατικές)
- Οι εφαρμογές τους ποικίλουν (εμφυτεύματα, φορητές εφαρμογές σε αναπτυσσόμενες χώρες)

Μέθοδοι κατασκευής

Εν γένει οι μέθοδοι κατασκευής των BioMEMS κατηγοριοποιούνται στη λιθογραφία και τη μικρομηχανική (micromachining).

Λιθογραφία: ορίζεται ως η δημιουργία αντιγράφου ενός προτύπου σχήματος σε μια επιφάνεια στερεού σώματος. Είναι μια γενική μέθοδος γραψίματος δομών πάνω σε μια επιφάνεια με μια συγκεκριμένη συσκευή. Αυτή μπορεί να είναι το φως στην περίπτωση της κοινής φωτολιθογραφίας ή ηλεκτρόνια όταν χρησιμοποιείται λιθογραφία δέσμης ηλεκτρονίων. Η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μορφή λιθογραφίας είναι η φωτολιθογραφία. Με το πέρασμα των χρόνων έχουμε βελτιώσεις της φωτολιθογραφίας που αποσκοπούν στην ικανότητά τους να παράγουν καλύτερη διακριτική ικανότητα. Παρακάτω παρουσιάζεται η διαδικασία της φωτολιθογραφίας σε έξι διαφορετικές φάσεις.



Σχήμα 2.1 Διαδοχικές φάσεις της φωτολιθογραφίας

Το ζητούμενο είναι η επιλεκτική αφαίρεση του οξειδίου έτσι ώστε να παραμείνει τμήμα μόνο του υλικού αυτού πάνω στο υπόστρωμα, σε επιλεγμένες περιοχές.

(Α) παρουσιάζεται ένα λεπτό φιλμ ($1\mu\text{m}$) ενός υλικού (διοξείδιο του πυριτίου) που έχει τοποθετηθεί πάνω σε ένα υπόστρωμα ενός άλλου υλικού (πυρίτιο).

(Β) το οξείδιο καλύπτεται από ένα πολυμερές υλικό που είναι ευαίσθητο στην υπεριώδη ακτινοβολία (UV)

Πριν προχωρήσουμε παρακάτω χρειάζεται να κατασκευαστεί μια μάσκα (ή φωτομάσκα), η οποία αποτελεί το αντικείμενο το οποίο θέλουμε να αντιγράψουμε.

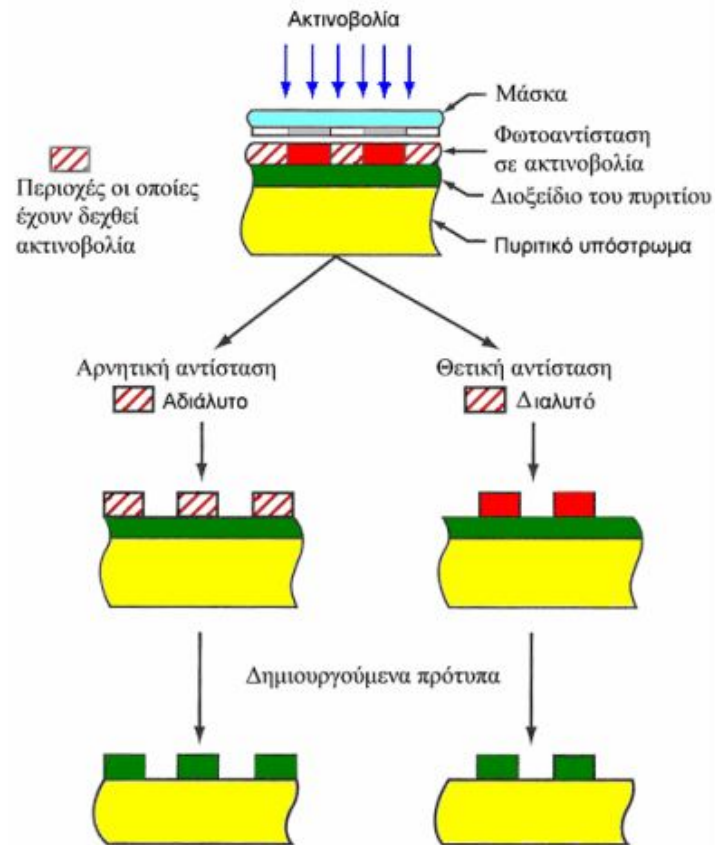
(Γ) η αντίσταση εκτίθεται σε UV, μέσω της μάσκας, με αποτέλεσμα την επιρροή του στρώματος της αντίστασης, όπου αυτή δεν είναι καλυμμένη.

(Δ) το υπόστρωμα ξεπλένεται με ένα διάλυμα ή ψεκάζεται με ένα σπρέι, για την απομάκρυνση των περιοχών της αντίστασης οι οποίες δεν έχουν εκτεθεί στην ακτινοβολία

(Ε) το υπόστρωμα τοποθετείται σε ένα διάλυμα HF ή $\text{HF} + \text{NH}_4\text{F}$ το οποίο προσβάλλει το οξείδιο αλλά όχι την αντίσταση ή το υπόστρωμα πυριτίου, δηλαδή η φωτοαντίσταση προστατεύει τις οξειδωμένες επιφάνειες τις οποίες καλύπτει.

(ΣΤ) τώρα η φωτοαντίσταση που παραμένει μπορεί να αποφλοιωθεί μέσω ενός ισχυρού οξέως όπως το $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-Cr}_2\text{O}_3$, το οποίο προσβάλλει τη φωτοαντίσταση αλλά όχι το οξείδιο του πυριτίου.

Αντιστάσεις: Υπάρχουν δύο είδη αντιστάσεων, οι θετικές και οι αρνητικές. Όπου η UV προσβάλλει μια θετική αντίσταση αδυνατίζει το πολυμερές. Το αντίθετο συμβαίνει με τις αρνητικές αντιστάσεις.



Σχήμα 2.2 Θετικές και αρνητικές αντιστάσεις

Μάσκες: Είναι επίπεδα γυαλιά με ένα απορροφητικό μεταλλικό πρότυπο. Το απορροφητικό πρότυπο στη μάσκα είναι αδιαφανές στη UV ακτινοβολία, ενώ το γυαλί είναι διαφανές.

Λιθογραφία χωρίς τη χρήση μάσκας: Τέτοιες κατασκευές θα ήταν πολύ χρονοβόρες και γι αυτό δεν χρησιμοποιούνται ευρέως. Αλλά για μερικές εφαρμογές (κυρίως microfluidics) δε χρησιμοποιούνται μάσκες.

Micromachining: χρησιμοποιείται για να κατασκευαστούν μικροκατασκευές τριών διαστάσεων. Διακρίνεται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: bulk micromachining και surface micromachining.

- **bulk micromachining:** οι κατασκευές ορίζονται μέσω επιλεκτικής χάραξης σε ένα υπόστρωμα. Ως υπόστρωμα χρησιμοποιείται κυρίως πυρίτιο αφού μπορεί να υποστεί υγρή εγχάραξη ανισοτροπικά. Στην υγρή εγχάραξη χρησιμοποιούνται υγροί αλκαλικοί διαλύτες για τη διάλυση του πυριτίου. Αυτοί οι αλκαλικοί διαλύτες διαλύουν το πυρίτιο άκρως ανισότροπα, έως 1000 φορές πιο γρήγορα από ό,τι άλλες. Μια τέτοια προσέγγιση χρησιμοποιείται συχνά με πολύ συγκεκριμένες κρυσταλλογραφίες στο ακατέργαστο πυρίτιο για να παραχθούν αυλακώσεις σχήματος V. Η

επιφάνεια αυτών των αυλακιών μπορεί να είναι ομαλή εάν η χάραξη εκτελείται σωστά και οι διαστάσεις και οι γωνίες μπορούν να οριστούν επακριβώς. Μπορεί να πραγματοποιηθεί με υγρή ή ξηρή χάραξη, αν και η πιο κοινή στο πυρίτιο είναι η ανισότροπη υγρή χάραξη. Αυτή η χάραξη εκμεταλλεύεται το γεγονός ότι το πυρίτιο έχει κρυσταλλική δομή, πράγμα που σημαίνει ότι τα άτομά του όλα τοποθετημένα σε τακτά χρονικά διαστήματα σε γραμμές και επίπεδα. Ορισμένα επίπεδα έχουν πιο αδύναμους δεσμούς και είναι πιο επιρρεπείς στη χάραξη.

- Surface micromachining: εδώ γίνεται η κατασκευή μικροσυσκευών με την χάραξη διαφορετικών δομικών στρωμάτων πάνω από το υπόστρωμα. Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της διαδικασίας είναι η δυνατότητα κατασκευής μονολιθικών μικροσυστημάτων στα οποία τα ηλεκτρονικά και τα μηχανικά εξαρτήματα είναι ενσωματωμένα στο ίδιο υπόστρωμα.

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό τα BioMEMS διαθέτουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, καθώς και ένα σχετικά μεγάλο εύρος μεγεθών. Αυτή η ποικιλία μεγεθών και εφαρμογών καθιστά αδύνατο τον εκ των πρότερων ορισμό μίας τυποποιημένης μεθόδου κατασκευής. Ακόμη και σε περιπτώσεις που η εφαρμογή είναι η ίδια, μπορούν να προκύψουν διαφορετικές εναλλακτικές αντιμετώπισης του ίδιου ζητήματος, με διαφορετικές φυσικές απαιτήσεις και αρχές λειτουργίας.

Για παράδειγμα, η κατασκευή μιας μικρο-αντλίας θα αποτελούταν από τα ακόλουθα εξαρτήματα:

- Επενεργητής
- Κινούμενη Μembrάνη
- Βαλβίδες

Ακόμη και για αυτήν την εφαρμογή της αντλίας όμως, οι δυνατές τεχνολογικές εφαρμογές είναι:

- Χρήση πιεζοηλεκτρικού συστήματος
- Χρήση θερμο-πνευματικού συστήματος
- Χρήση ηλεκτρομαγνητικού συστήματος

Μόνο από τις αρχές λειτουργίας των παραπάνω τεχνολογικών εφαρμογών γίνεται σαφές πως οι απαιτήσεις λειτουργίας διαφέρουν κατά πολύ ανά περίπτωση. Ενώ τα ζητούμενα μεγέθη λειτουργίας θα είναι:

- Ο όγκος ρευστού που αντλείται
- Η συχνότητα λειτουργίας
- Η κατανάλωση ισχύος

- Η παροχή άντλησης (όπως προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό του όγκου που αντλείται επί την συχνότητα λειτουργίας)

Παρακάτω θα δούμε τις διάφορες απαιτήσεις αυτών των συστημάτων και κατά πόσο τελικά διαφέρουν.

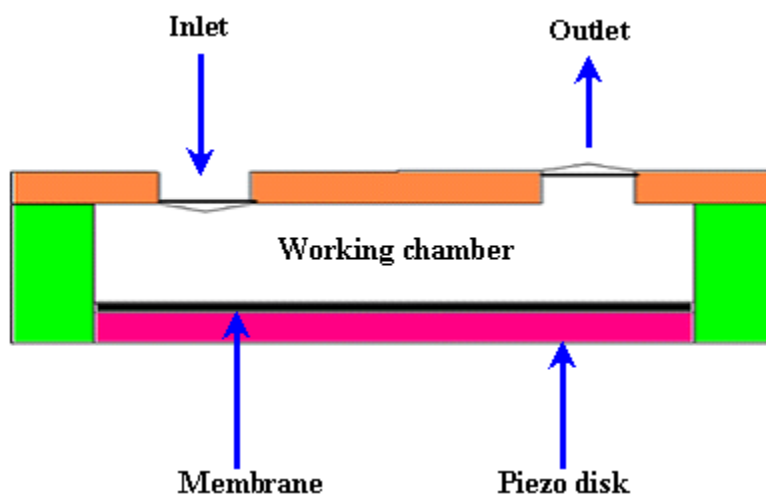
Παραδείγματα κατασκευής-Πιεζοηλεκτρική αντλία

Για την κατασκευή μιας πιεζοηλεκτρικής αντλίας ισχύουν τα ακόλουθα:

- Η απόδοση της μετατροπής δίνεται από την σχέση:

$$K^2 = \frac{\text{Έξοδος Μηχανικής Ενέργειας}}{\text{Είσοδος Ηλεκτρικής Ενέργειας}}$$

- Εμφάνιση μεγάλου παλμού παροχής
- Γρήγορη απόκριση στο πεδίο του χρόνου
- Για την ολοκλήρωση της κατασκευής απαιτείται απλώς ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα



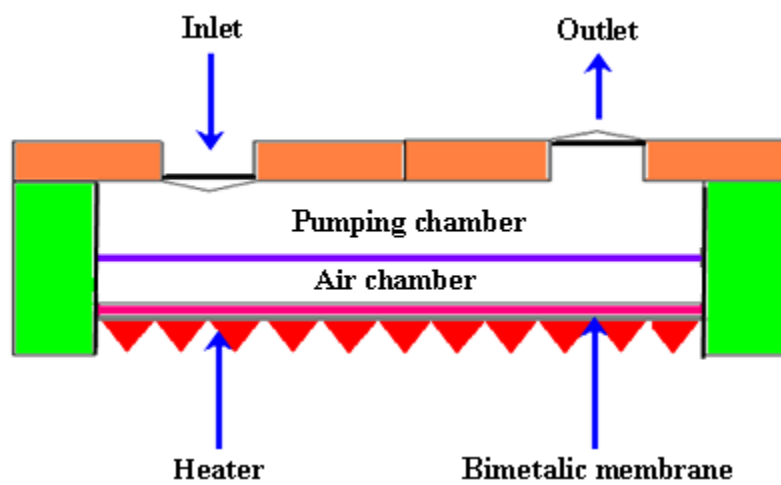
Παραδείγματα κατασκευής-Θερμο-πνευματική αντλία

Για την κατασκευή μιας θερμο-πνευματικής αντλίας ισχύουν τα ακόλουθα:

- Αρχή λειτουργίας του συστήματος: Θερμική διαστολή
- Ο αέρας θερμαίνεται και ψύχεται από σύστημα θέρμανσης/ψύξης
- Η αύξηση της πίεσης δίνεται από την σχέση:

$$\Delta P = E(\beta \Delta T - \frac{\Delta V}{V})$$

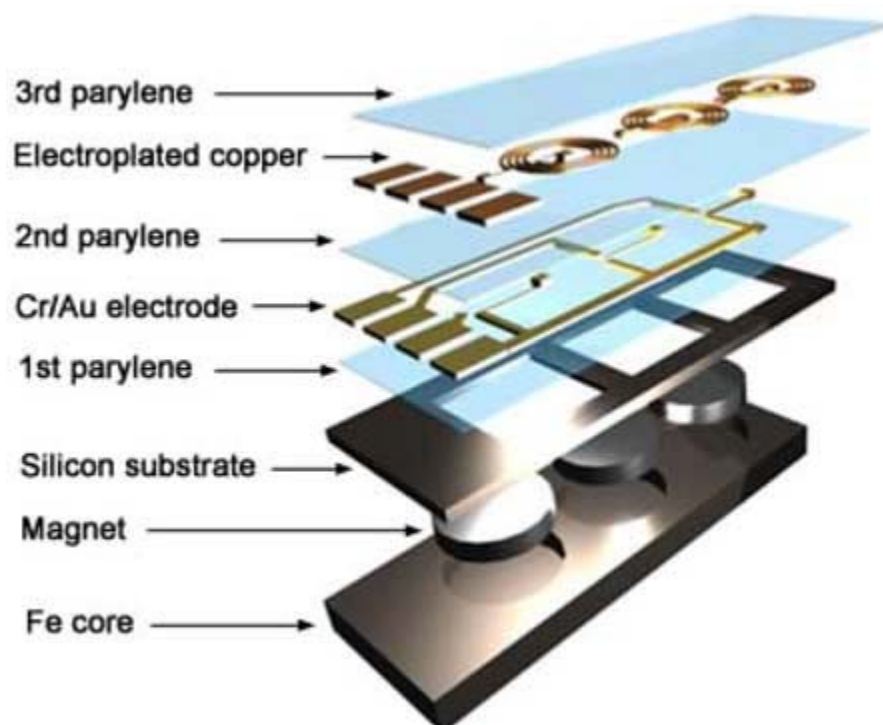
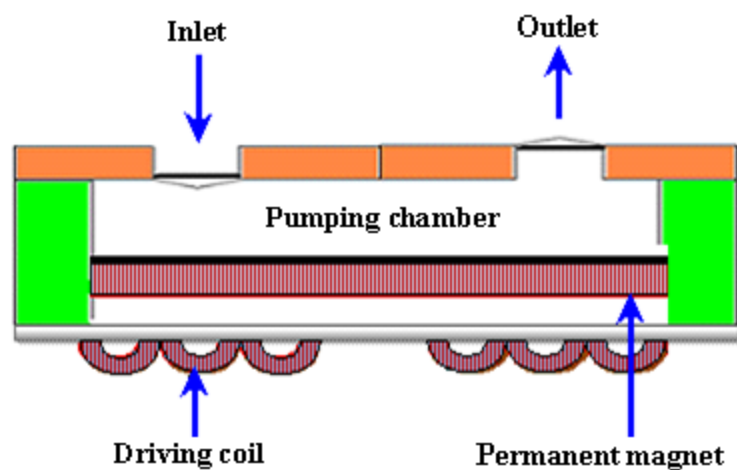
- Εμφανίζονται υψηλές πιέσεις και μεγάλες μετατοπίσεις στην μεμβράνη
- Η ενέργεια λειτουργίας πρέπει να βρίσκεται συνεχώς πάνω από κάποιο όριο



Παραδείγματα κατασκευής-Ηλεκτρομαγνητική αντλία

Για την κατασκευή μιας ηλεκτρομαγνητικής αντλίας ισχύουν τα ακόλουθα:

- Ανάπτυξη δύναμης Lorentz
- Η δύναμη του ηλεκτρομαγνήτη εξαρτάται από το ρεύμα στις σπείρες του πηνίου
- Δημιουργούνται περιοχές υψηλής ενέργειας
- Γρήγορη απόκριση στο πεδίο του χρόνου
- Δημιουργούνται μεγάλες αποκλίσεις με μικρή τάση
- Απαιτεί υψηλή ποσότητα ενέργειας, η οποία ωστόσο μπορεί να παρασχεθεί ασύρματα



Παραδείγματα κατασκευής-Σύγκριση

Για τις παραπάνω περιπτώσεις ακολουθεί ο ακόλουθος πίνακας με συνήθη μεγέθη σχετικά με τις αντλίες, ανάλογα με την τεχνολογία επενέργειας που εφαρμόζεται στην κάθε μία:

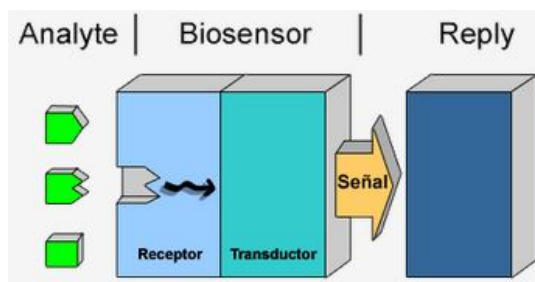
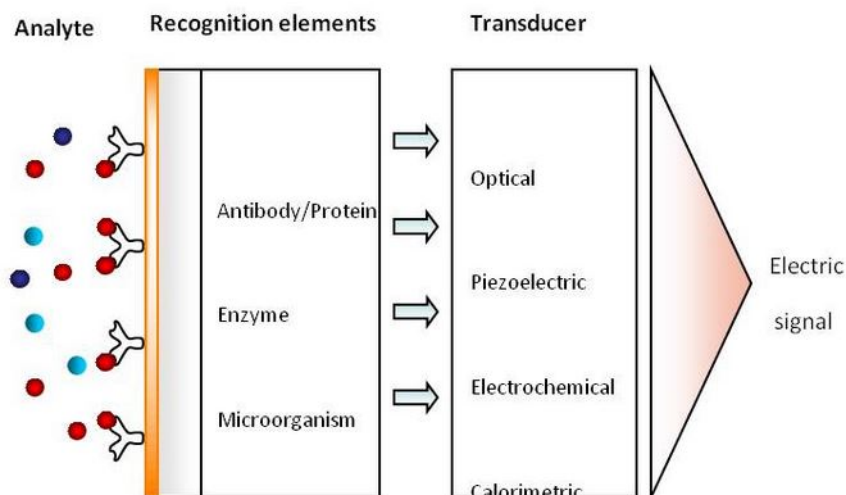
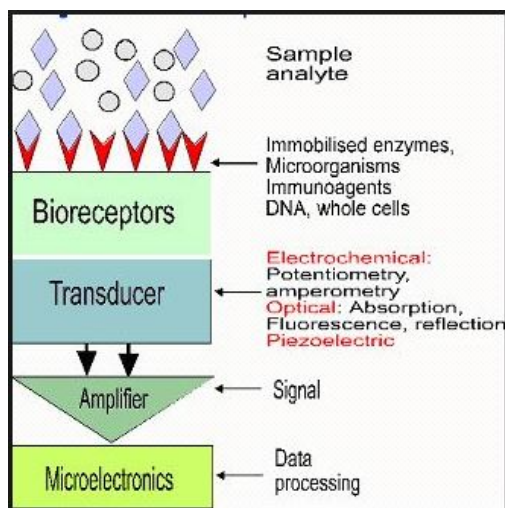
| Τεχνολογία Επενέργειας | Ρυθμός Παροχής (μl/s) | Συχνότητα (Hz) | Διαστάσεις (mm × mm × mm) |
|-------------------------|-----------------------|----------------|---------------------------|
| Πιεζοηλεκτρική Αντλία | 25.5 | 170 | 6 × 6 × 1.5 |
| Θερμο-πνευματική Αντλία | 0.23 | 4 | 6 × 6 × 1.5 |
| Ηλεκτρομαγνητική Αντλία | 3.8 | 2.5 | 14 × 9 × 6 |

Όπως μπορούμε να δούμε από τα παραπάνω χαρακτηριστικά κι όπως προκύπτει από την σύγκριση των παραπάνω παραδειγμάτων, για την ίδια εφαρμογή, υπάρχουν πολλές διαφορετικές εναλλακτικές που η κάθε μία έχει τα δικά της μοναδικά χαρακτηριστικά και αρχές λειτουργίας.

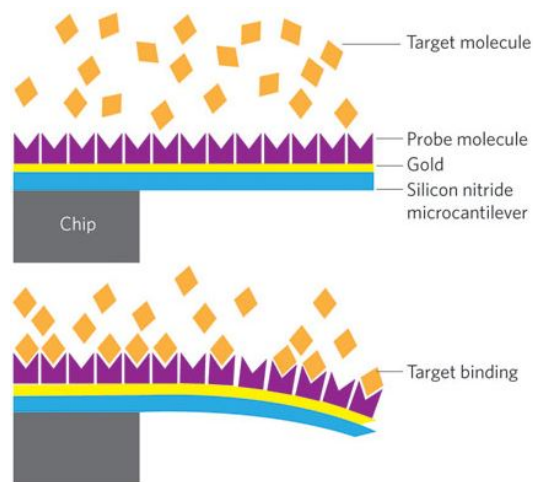
Με δεδομένα τα παραπάνω, μπορούμε να κατανοήσουμε πως δεν μπορούμε να μιλήσουμε για την κατασκευή των BioMEMS ως κάτι γενικό, αλλά πρέπει να προσεγγίζουμε κάθε περίπτωση σαν ξεχωριστή, όπως και είναι στην πραγματικότητα δηλαδή.

Βιοαισθητήρες

Είναι συσκευές που αποτελούνται από ένα βιολογικό σύστημα αναγνώρισης (bioreceptor) και από έναν μετατροπέα. Η αλληλεπίδραση των αναλυτών με το βιουποδοχέα προκαλεί ένα φαινόμενο κατά το οποίο ο μετατροπέας μπορεί να μετατρέψει σε μια μέτρηση (π.χ. ηλεκτρικό σήμα). Οι πιο κοινοί βιουποδοχείς βασίζονται στις αλληλεπιδράσεις α) αντισώματος-αντιγόνου, β) νουκλεϊκού οξέος, γ) ενζυμικές, δ) κυτταρικές και ε) με τη χρήση βιομιμητικών υλικών. Συνήθεις τεχνικές μετατροπής περιλαμβάνουν μηχανική, ηλεκτρική και οπτική ανίχνευση.



Μηχανικοί αισθητήρες: Η μηχανική ανίχνευση επιτυγχάνεται μέσω προβόλων (για αίσθηση άγχους και μαζικής αίσθησης) ή πλακών-μεμβρανών. Στην αίσθηση του άγχους (stress sensing), η βιοχημική αντίδραση διενεργείται επιλεκτικά στη μία πλευρά του προβόλου για να προκαλέσει μια αλλαγή στην ελεύθερη ενέργεια επιφανείας. Έτσι η κάμψη του προβόλου δεν είναι μετρήσιμη οπτικά (laser ανάκλασης) ούτε ηλεκτρικά (πιεζοηλεκτρική αντίσταση στο σταθερό άκρο του προβόλου) λόγω της αλλαγής στην πίεση επιφανείας. Στη μαζική ανίχνευση (mass sensing), ο πρόβολος δονείται στη συχνότητα συντονισμού του. Όταν μια βιοχημική αντίδραση λαμβάνει χώρα και αυτό γίνεται αντιληπτό από τον πρόβολο, τότε η μάζα του αλλάζει, όπως και η συχνότητα συντονισμού. Η μαζική αίσθηση δεν είναι τόσο αποτελεσματική στα ρευστά καθώς η ελάχιστη ανιχνεύσιμη μάζα είναι πολύ μεγαλύτερη σε ένα μέσο απόσβεσης κάτι που ξεπερνιέται με πλάκες ή μεμβράνες. Δεν υπάρχει ανάγκη για οπτικώς ανιχνεύσιμο σήμα σχετικά στους αναλυτές ή τους βιουποδοχείς.



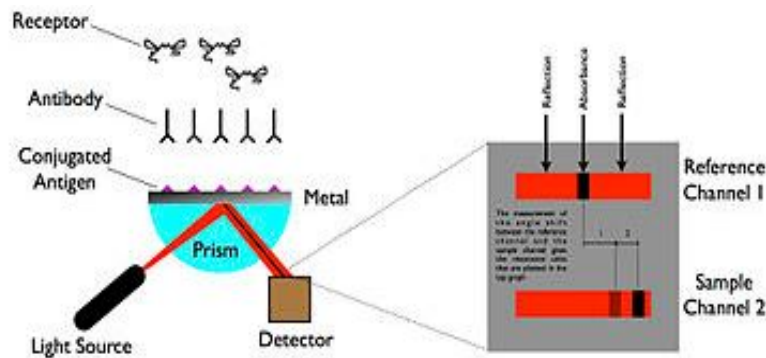
Ηλεκτρικοί αισθητήρες: Στους αμπερομετρικούς βιοαισθητήρες μία αντίδραση οξειδοαναγωγής* ενζύμου προκαλεί ένα ρεύμα ηλεκτρονίων οξειδοαναγωγής. Έχουν χρησιμοποιηθεί σε BioMEMS για την ανίχνευση της γλυκόζης, γαλακτόζης, λακτόζης, ουρίας και χοληστερόλης καθώς και για εφαρμογές σε ανίχνευση αερίων και υβριδισμό του DNA**. Στους ποτενσιομετρικούς βιοαισθητήρες, οι μετρήσεις του ηλεκτρικού δυναμικού σε ένα ηλεκτρόδιο γίνονται σε σχέση με ένα άλλο ηλεκτρόδιο. Παραδείγματα των βιοαισθητήρων περιλαμβάνουν τρανζίστορ επίδρασης πεδίου ευαίσθητα σε ιόντα, χημικά τρανζίστορ επίδρασης και το φως προσπελάσιμους ποτενσιομετρικούς αισθητήρες. Στους βιοαισθητήρες αγωγιμότητας, αλλαγές στην ηλεκτρική εμπέδηση μεταξύ δύο ηλεκτροδίων μετρώνται ως αποτέλεσμα μιας βιομοριακής αντίδρασης. Έχουν

*: Οξειδοαναγωγή: χημικές αντιδράσεις όπου τα άτομα των στοιχείων που συμμετέχουν αλλάζουν αριθμό οξείδωσης (το ηλεκτρικό φορτίο που αποκτά το άτομο όταν σχηματίζει με ένα άλλο στοιχείο ιοντικό δεσμό)

** : Είναι η διασταύρωση δύο γενετικά ανόμοιων ατόμων που εκφράζουν κάποιο κοινό χαρακτηριστικό με διαφορετικό τρόπο το καθένα.



*: Η αλυσιδωτή αντίδραση πολυμεράσης αποτελεί μια μέθοδο για την απομόνωση και τον πολλαπλασιασμό μίας αλληλουχίας DNA



- **Θέση βιοαισθητήρων:** Η θέση των αισθητήρων στα BioMEMS εξαρτάται από την ίδια τη συσκευή και την εφαρμογή της. Έτσι μπορεί να τοποθετηθούν τοπικά, να είναι εξωτερικά συνδεδεμένοι (in vitro- σε δοκιμαστικό σωλήνα, in vivo- μέσα σε έναν ζωντανό οργανισμό) ή να εμφυτευτούν-μεταμοσχευθούν.

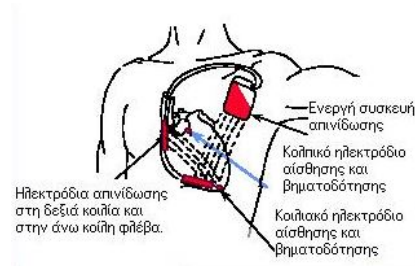
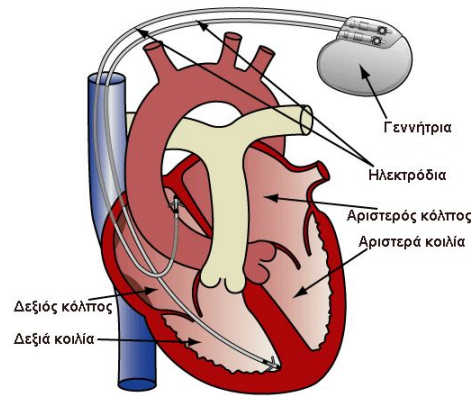
Τοπικοί αισθητήρες: Είναι αυτοί που εφαρμόζονται στο δέρμα ή τοποθετούνται στο στόμα. Μια συνήθης συσκευή με τέτοιο αισθητήρα είναι το θερμόμετρο. Τα κοινά θερμόμετρα υδραργύρου τείνουν να αντικατασταθούν από υπέρυθρα θερμόμετρα αυτιού.



Εξωτερικοί αισθητήρες: Οι εξωτερικά συνδεόμενοι αισθητήρες είναι συσκευές που μπορούν να περιέχουν in vivo μέρη αλλά και εξωτερικά μέρη. Παράδειγμα 1: ακουστικό που περιέχει μικρόφωνο, επεξεργαστή λόγου, μετατροπέα, δέκτη (in vivo) και μια σειρά ηλεκτροδίων. Δεν αποκαθιστά την πλήρη ακοή αλλά βοηθά έναν κωφό να επικοινωνεί αξιοπρεπώς. Παράδειγμα 2: Μετρητής γλυκόζης που επικοινωνεί με εξωτερικά μέρη όπως ένας υπολογιστής. Αυτός ο μετρητής μετρά συνεχώς να επίπεδα γλυκόζης του ασθενούς και τον προμηθεύει με ινσουλίνη όταν είναι απαραίτητο.

Εμφυτευμένες συσκευές: Τα BioMEMS έχουν ποικίλες δυνατότητες όσον αφορά τις πλήρως εμφυτευμένες συσκευές αλλά μονάχα λίγες από αυτές έχουν κάνει την είσοδό τους στην ευρεία καταναλωτική αγορά. Δύο χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οι βηματοδότες και οι απινιδωτές*. Την εμφάνισή τους έχουν κάνει και μοσχεύματα νεύρων και οι διεγέρτες νωτιαίου μυελού ώστε να καταπραΰνουν τους έντονους πόνους.

*: Ηλεκτρική συσκευή που επιδιορθώνει τον ρυθμό της καρδιάς με ηλεκτρική ενέργεια.

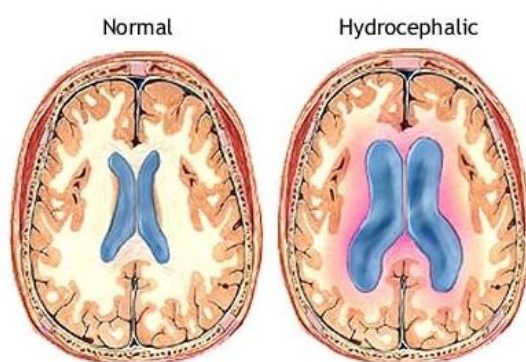


Εφαρμογές

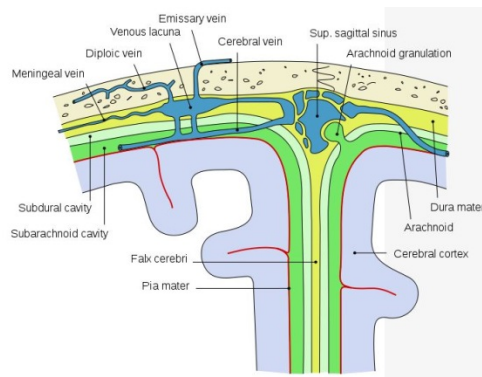
1. Νευρολογία:

- Μέτρηση νευρικών σημάτων ενεργοποίηση νευρώνων με ηλεκτρικά σήματα.
- Θεραπεία της υδροκεφαλίας: Είναι η υπερβολική συσσώρευση εγκεφαλονωτιαίου υγρού στον εγκέφαλο. Τα BioMEMS που είναι υπεύθυνα για τη θεραπεία της υδροκεφαλίας περιέχουν: τηλεμετρικούς αισθητήρες, μικροαντλίες, επενεργητές και βαλβίδες. Μία θεραπεία αναπτυσσόμενη τα τελευταία χρόνια είναι τα Shunt Systems (συστήματα παράκαμψης). Ουσιαστικά παρακάμπτεται το επιπλέον εγκεφαλονωτιαίο υγρό από τον κοιλιακό χώρο στο περιτόναιο. Η τεχνολογία τους όμως δεν είναι τόσο ανεπτυγμένη και προκαλούν λοιμώξεις, έχουν υψηλά ποσοστά αποτυχίας και διαβρώνονται εύκολα. Με την ανάπτυξη όμως της κατασκευής μικροτεχνολογίας κατασκευάστηκαν συστήματα που μπορούν να μιμούνται την αραχνοειδή κοκκοποίηση* (Microfabricated Arachnoid Granulations-MAG). Αποτελούνται από πολλές μικροβαλβίδες (διαμέτρου 210μm η καθεμιά). Και μέσω των μικροβελόνων που εμφυτεύονται στον εγκέφαλο επιτρέπεται η έξοδος του εγκεφαλονωτιαίου υγρού.

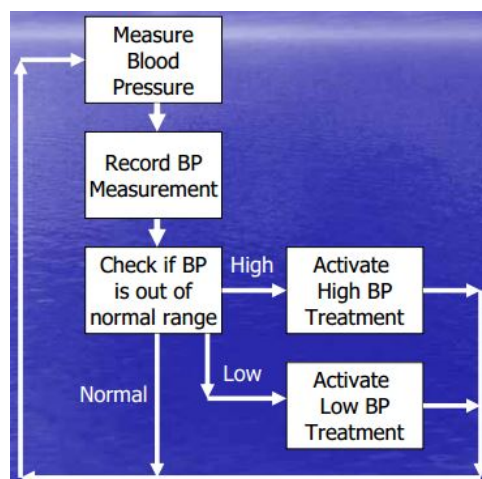
Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται μια εικόνα υδροκέφαλου σε σύγκριση με μία φυσιολογική. Ο εγκέφαλος έχει διογκωθεί, η περίσσεια υγρού πιέζει τον περιβάλλοντα εγκέφαλο και προκαλεί νευρολογικά συμπτώματα.



*: Αραχνοειδείς κοκκοποιήσεις είναι μικρές προεξοχές του αραχνοειδούς (το λεπτό δεύτερο στρώμα που καλύπτει τον εγκέφαλο) προς το παχύ εξωτερικό στρώμα. Αυτές επιτρέπουν στο εγκεφαλονωτιαίο υγρό να βγεί από τον υποαραχνοειδή χώρο και να εισέλθει στην κυκλοφορία του αίματος.



- Βλάβη του Αυτόνομου Νευρικού Συστήματος (Autonomic Nervous System-ANS):** είναι το τμήμα του περιφερειακού νευρικού συστήματος που δρα σαν σύστημα ελέγχου και διατηρεί την ομοιόσταση στο σώμα*. Είναι επίσης υπεύθυνο για τον καρδιακό ρυθμό, την πέψη, το ρυθμό αναπνοής, την παραγωγή σάλιου, την εφίδρωση, τη διάμετρο των κορών, την ούρηση και τη σεξουαλική διάθεση. Όταν αυτό το σύστημα αποτυγχάνει κυρίως παρατηρείται ανεξέλεγκτη αρτηριακή πίεση. Οι ANS συσκευές παρέχουν άμεση ανίχνευση της πίεσης (αποφεύγοντας καρδιακή προσβολή ή εγκεφαλικό επεισόδιο), χρησιμοποιούν ήδη υπάρχουσα τεχνολογία και είναι προσανατολισμένες στον κάθε ασθενή. Περιέχουν κυρίως έναν αισθητήρα της πίεσης του αίματος, ένα μηχανισμό ελέγχου (control block) και διορθωτή χαμηλής και υψηλής πίεσης, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



*: Ομοιόσταση είναι η ικανότητα του οργανισμού να διατηρεί σταθερές τις συνθήκες στο εσωτερικό (π.χ. θερμοκρασία, σταθερή χημική σύσταση του υγρού των οστών)

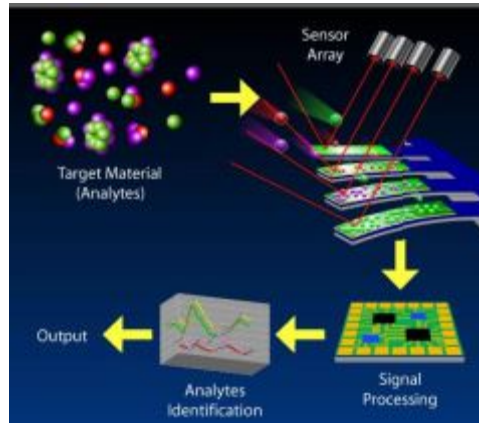
Σχεδίαση του μετρητή πίεσης: τοποθετείται σε μια αρτηρία, έχει εύρος από 20 έως 250 mmHg, ανάλυση 2 mmHg, ακρίβεια 5 mmHg και πραγματοποιούνται 1,2 ή 4 μετρήσεις ανά λεπτό.

Τα ANS BioMEMS υστερούν στο γεγονός ότι το φάρμακο που χρησιμοποιείται για την αύξηση της πίεσης του αίματος μπορεί να απαιτεί μια αρκετά υψηλή δόση, η οποία έχει ανεπιθύμητες παρενέργειες και πριν τη χρήση τους πρέπει να γίνονται έλεγχοι βιοσυμβατότητας.

Στο μέλλον σχεδιάζεται να χρησιμοποιούνται πλήρως εμφυτευμένες συσκευές, βιοσυμβατές, με μεγάλη διάρκεια ζωής.

2. Διάγνωση- Αντιμετώπιση ασθενειών

- Ολοκληρωμένη συσκευή (Lab on a chip) για την διάγνωση μεταδιδόμενων ασθενειών στον αναπτυσσόμενο κόσμο. Επίσης τέτοιες συσκευές απομονώνουν πρωτεΐνες, τις αφομοιώνουν και τις διαχωρίζουν.
- Micro Total Analysis System μTAS.
- Μικροεπεξεργαστές DNA και μικροσυστοιχίες πρωτεΐνης επιτρέπουν την γρήγορη παρακολούθηση γενετικών χαρακτηριστικών. Οι τελευταίες συμβάλλουν στην ικανότητα διαβίβασης πληροφοριών της λειτουργίας και της αφθονίας των πρωτεϊνών. Πιο συγκεκριμένα δύνανται: ανίχνευση μεταλλάξεων, γνώση της συμπεριφοράς των γονιδίων, διάγνωση και πρόγνωση του καρκίνου, παρακολούθηση των παθογόνων και πιθανή αντίσταση σε μολύνσεις. Τέλος, αυτοί οι μικροεπεξεργαστές επιτρέπουν την κατηγοριοποίηση των ασθενών σε κλινικές εξετάσεις ανάλογα με τη σοβαρότητα της κατάστασης του καθενός.
- BioFlips: Ο στόχος αυτών των συσκευών είναι η διάγνωση στρατιωτών που έχουν μολυνθεί από κάποια ασθένεια πριν όμως εμφανίσουν κάποιο σύμπτωμα μέσω τεχνολογίας LOC. Αυτά τα chips θα συνδυάζουν την έγκαιρη διάγνωση, γρήγορη ανίχνευση και δυνατή θεραπεία. Όταν αναπτυχθούν πλήρως θα συνδυάζουν την in vitro διάγνωση με την in vivo απόκτηση και λήψη φαρμάκων.
- Συστοιχίες χημικών αισθητήρων: Αυτές οι συσκευές BioMEMS χρησιμοποιούνται για να ταυτοποιούν μία αρρώστια ή ένα αντίσωμα και να μαζεύουν τις βιομοριακές πληροφορίες που χρειάζονται για να συνταγογραφηθούν τα απαραίτητα φάρμακα. Βρίσκονται σε πολλά LOC συστήματα.



- Point of care: Είναι ένα φορητό όργανο διάγνωσης που χρειάζεται μόνο μερικά μικρολίτρα ενός δείγματος (αίμα, ούρα, σάλιο). Έτσι η διάγνωση και θεραπεία των ασθενών γίνονται με ταχείς ρυθμούς. Ολόκληρη η συσκευή ζυγίζει λιγότερο από 2,5 κιλά και εμπεριέχει ένα microfluidic chip με ενσωματωμένα μικροσκοπικά ηλεκτρονικά, οπτικά στοιχεία, στοιχεία για τη διαχείριση των ρευστών καθώς και έναν επεξεργαστή πληροφοριών.
- Μετρητής γλυκόζης: Είναι μια συσκευή που παρακολουθεί τα επίπεδα γλυκόζης ενός διαβητικού ατόμου. Περιλαμβάνει μια λωρίδα που εμπεριέχει ένζυμα τα οποία αντιδρούν με τη γλυκόζη και ένα ηλεκτρόδιο το οποίο αντιλαμβάνεται τις χημικές αλλαγές μέσω διακυμάνσεων του ρεύματος (κινούμενα ηλεκτρόνια). Αυτός ο μετρητής παρέχει εξαιρετικά ακριβείς μετρήσεις του επιπέδου της γλυκόζης με μία μονάχα σταγόνα αίματος. Με την πάροδο της τεχνολογίας των BioMEMS τέτοιου είδους συσκευές δεν ανιχνεύουν μόνο τα επίπεδα γλυκόζης του αίματος (C). Την πληροφορία αυτή την δίνουν σε έναν υπολογιστή (A), αυτός την επεξεργάζεται με τη βοήθεια ενός χημικού μετατροπέα (D) και μέσω ενός ενσωματωμένου επενεργητή ή μιας μικροαντλίας (B) προμηθεύουν τον ασθενή με την κατάλληλη ποσότητα ινσουλίνης.



- Ενδοσκόπηση: Τα BioMEMS χρησιμοποιούνται επίσης στην ενδοσκόπηση. Είναι δηλαδή μικροσυσκευές που περιέχουν έναν οπτικό μικροσαρωτή. Δεν

απαιτείται πλέον η εισαγωγή του ενδοσκοπίου στο σώμα του ασθενούς. Αρκεί μονάχα να καταπιεί τη μικροσυσκευή που μοιάζει με χάπι και αυτή δίνει μια πλήρη εικόνα στο γιατρό.

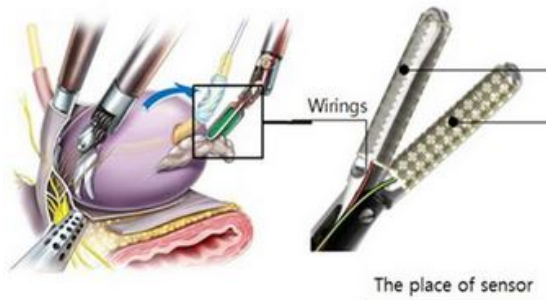
- **Καρκίνος:** Αναφέρεται πως οι συνήθεις μέθοδοι αντιμετώπισής του είναι χημειοθεραπεία, ακτινοβολία, χειρουργική και ορμονοθεραπεία. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης BioMEMS είναι: μικρότερη και πιο ελεγχόμενη δοσολογία φαρμάκων, μειωμένη τοξικότητα και είναι λιγότερο επεμβατική. Ωστόσο πρέπει να εμφυτευτούν χειρουργικά και είναι ικανές για χιλιάδες δόσεις φαρμάκων. Επίσης οι συσκευές BioMEMS είναι ικανές να διαπερνούν τα αιμοφόρα αγγεία του καρκίνου αλλά όχι τα φυσιολογικά. Αντισώματα επικαλυμμένα με κάψουλες πολυμερούς προσδένονται στα καρκινικά κύτταρα. Η κάψουλα διασπάται όταν θερμανθεί από έναν μικρής ενέργειας παλμό laser και τότε απελευθερώνει το φάρμακο. Τα κύρια πλεονεκτήματά τους είναι: ασφαλέστερη και ταχύτερη μέθοδος από τις συμβατικές, μπορεί να χρησιμοποιηθούν στην εικονοποίηση των καρκινικών κυττάρων, εισάγεται μέσα στα κύτταρα και όχι πάνω σε αυτά. Παρ' όλα αυτά δεν είναι ακόμα γνωστή η αποτελεσματικότητά τους.

3. Μικροχειρουργική:

- Είναι συσκευές που μπορούν να πραγματοποιήσουν μικροχειρουργικές επεμβάσεις φτάνοντας σε απρόσιτα σημεία του σώματος (minimally invasive devices). Αυτή η νέα μορφή χειρουργικής αποτελεί μια εναλλακτική προσέγγιση της κλασσικής χειρουργικής. Πιο συγκεκριμένα αυτές οι συσκευές στοχεύουν στην καταπολέμηση του καρκίνου αλλά και στη λήψη φαρμάκων στα διάφορα όργανα του ανθρώπινου σώματος. Γίνεται εμφύτευση μικροαισθητήρων και μικροεπενεργητών στο ανθρώπινο σώμα.
- The da Vinci Surgical System: Είναι ένα μηχάνημα από την εταιρία Intuitive Surgical το οποίο ουσιαστικά λειτουργεί σαν προσομοιωτής. Ο χειρουργός κάθεται σε απόσταση από τον ασθενή, πίσω από το μηχάνημα και κρατά ένα χειριστήριο στο κάθε χέρι του. Από την οθόνη του μηχανήματος μπορεί να βλέπει τον ασθενή. Με την κίνηση των χεριών του «κουνά» ουσιαστικά τους βραχίονες και αυτοί είναι που έρχονται σε επαφή με τον ασθενή και κάνουν την επέμβαση. Το μηχάνημα αντικαθιστά το χειρουργό διότι μπορεί να κάνει πιο μικρές και λεπτές κινήσεις. Μειονέκτημα της εν λόγω συσκευής είναι η ανυπαρξία της αίσθησης της αφής.



- Το Κέντρο Ανεπτυγμένης Χειρουργικής και Επεμβατικής Τεχνολογίας (CASIT) ερευνά ένα ρομπότ που θα μπορεί να χειρουργεί δίνοντας ταυτόχρονα την αίσθηση της αφής στο χειρουργό. Οι αρπάγες στο τελείωμα του χειρουργικού εργαλείου (μέσω συστοιχιών αισθητήρων) θα διαθέτουν πολλά σημεία αίσθησης. Κάθε σημείο των συστοιχιών θα μπορεί να ανιχνεύει τη δύναμη που ασκείται στον ανθρώπινο ιστό από την αρπάγη. Η δύναμη θα μεταφράζεται σε πίεση μέσω ενός joystick που θα κρατά ο χειρουργός. Νοιώθοντας την αλλαγή της πίεσης, θα προσαρμόζει το εργαλείο.



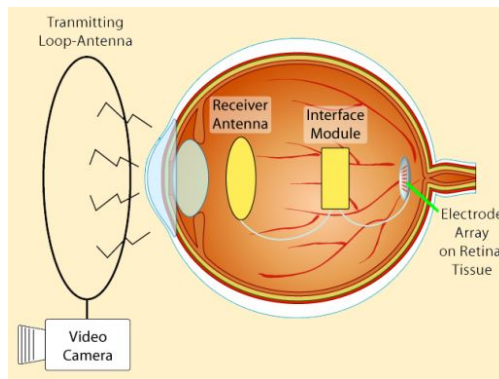
- 4. Λήψη φαρμάκων:** Οι μέθοδοι λήψης φαρμάκων που επικρατούν στις μέρες μας είναι κατάποση σε υγρή (σιρόπι) ή στερεή (χάπι) μορφή, τοπική χρήση (δερματική αλοιφή ή οφθαλμικές σταγόνες), ενέσιμα (στο αίμα ή στον υποδόριο ιστό). Οι παράμετροι που λαμβάνονται υπ' όψη κατά τη χορήγηση είναι η δοσολογία, η συχνότητα, η διάρκεια. Το πλεονέκτημα των BioMEMS είναι η αξιόπιστη και ακριβής χορήγηση της θεραπείας.

- Ένα παράδειγμα εφαρμογής είναι οι συσκευές παροχής ινσουλίνης που αναφέρθηκαν και παραπάνω.
- Ακόμη παρέχετε μορφίνη στη σπονδυλική στήλη για μείωση του πόνου με μια αντίστοιχη συσκευή.
- Μελετάται η in vivo απομόνωση των κυττάρων με στόχο την αποφυγή ανοσολογικής απόρριψης ενός μοσχεύματος.
- Το γνωστό Microchip θα μπορεί να προμηθεύει τον οργανισμό με τα απαραίτητα φάρμακα. Δεν στοχεύει όμως να αντικαταστήσει τα χάπια και τις άλλες μορφές φαρμάκων, αλλά θα προμηθεύει τον οργανισμό με πρωτεΐνες και άλλες ουσίες που είναι σημαντικές για τη σωστή λειτουργία του οργανισμού και πρέπει να λαμβάνονται σε συγκεκριμένες δόσεις ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα.



5. Οπτική:

- Αισθητήρες μέτρησης πίεσης στο εσωτερικό του βολβού του ματιού.
- Μια θεραπευτική συσκευή BioMEMS που βρίσκεται στο στάδιο του ελέγχου είναι ένας τεχνητός αμφιβληστροειδής χιτώνας. Το επίκεντρο του συστήματος είναι ο χιτώνας και μια συστοιχία ηλεκτροδίων που τοποθετείται ακριβώς πάνω του, στο πίσω μέρος του ματιού. Αυτή η συστοιχία διπλασιάζει την ικανότητα των κυττάρων του φωτουποδοχέα στο χιτώνα. Στο σύστημα υπάρχει ακόμα μία κάμερα , ένας μικροεπεξεργαστής, ένας μετατροπέας, ένας υποδοχέας και μια μονάδα διασύνδεσης. Οι εικόνες από την κάμερα μετατρέπονται σε ηλεκτρονικά σήματα και μεταφέρονται στον υποδοχέα. Τα σήματα ενεργοποιούν συγκεκριμένα ηλεκτρόδια της συστοιχίας που γίνονται παλμοί στο χιτώνα μέσω του οπτικού νεύρου και του εγκεφάλου. Η κατασκευαστική εταιρία του τεχνητού αυτού μέλους το 2011 πραγματοποίησε ένα κλινικό πείραμα σε 30 ασθενείς και είχαν όλοι τους τρομερή βελτίωση της όρασής τους.



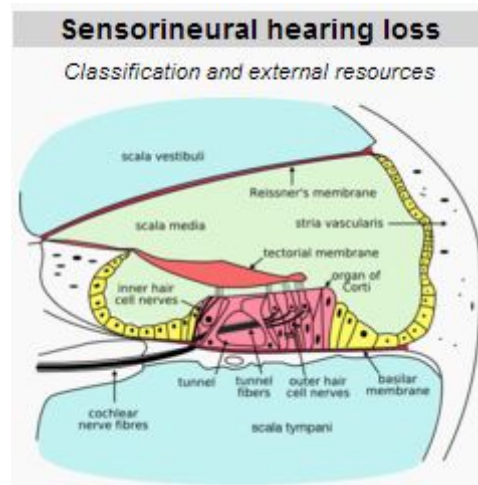
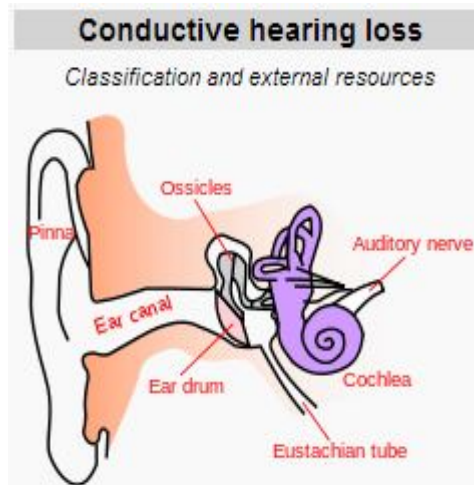
6. Καρδιολογία:

- Μέτρηση πίεσης της καρδιάς και των καρδιακών παλμών και συνεχής μετάδοση του σήματος στον γιατρό που παρακολουθεί τον ασθενή ώστε να αποφευχθεί καρδιακή ανακοπή. Γενικά η μη φυσιολογική αρτηριακή πίεση μπορεί να οδηγήσει σε υπέρταση, αθηροσκλήρωση, έμφραγμα ή ανακοπή. Σημειώνεται ότι η αρτηριακή πίεση δεν είναι ίδια σε όλο το σώμα. Οι BioMEMS συσκευές που κατασκευάζονται για να μετρούν την πίεση είναι οικονομικά βιώσιμες, άμεσα διαθέσιμες, μικροσκοπικές, μπορούν να την παρακολουθούν συνεχώς, δε φράσουν την ροή του αίματος και δίνουν άμεσα αποτελέσματα. Τα προβλήματα που προκύπτουν από αυτές τις συσκευές είναι πως δεν είναι πάντα βιοσυμβατές με τον ασθενή, έχουν ανάγκη από επαρκές εύρος ζώνης για να μετρούν ολόκληρη την κυματομορφή της πίεσης. Επίσης οι μετρήσεις βασίζονται στην αλλαγή της διαμέτρου των αιμοφόρων αγγείων, άρα μπορούν να επηρεαστούν από την ελαστικότητά τους και να μην είναι ακριβείς. Τέλος, ενδέχεται ο κίνδυνος διαταραχής της ομαλής ροής του αίματος λόγω της χρόνιας εμφύτευσης.

7. Ακουστική

- Δημιουργία τεχνητού κοχλίου για το αυτί ώστε να αποκατασταθεί η ακοή ατόμων με κώφωση.
- Υπάρχουν δύο τύποι έλλειψης ακοής: Conductive hearing loss και Sensorineural hearing loss. Στον πρώτο δεν μπορεί ουσιαστικά να φτάσει ο ήχος στο εσωτερικό του αυτιού (λόγω μεγάλης ποσότητας κεριού ή λοίμωξης του αυτιού) και στον δεύτερο έχει προηγηθεί τραυματισμός του ακουστικού νεύρου. Οι συσκευές BioMEMS για την αποκατάσταση της ακοής έχουν τα εξής χαρακτηριστικά: τοποθετούνται στα οστάρια*, τις συνδέουν καλώδια με το εξωτερικό του αυτιού, περιέχουν έναν ακουστικό αισθητήρα (μικρόφωνο), εμφυτεύονται υποδόρια, στέλνουν σήμα προς επεξεργασία στα ηλεκτρόδια στο κοχλιακό εμφύτευμα. Το κυριότερο μειονέκτημα είναι η ανικανότητα να περαστούν τα μικροκαλώδια μέσα στον καμπύλο κοχλία.

*: Τα οσάκια είναι τα τρία μικρότερα κόκκαλα στο ανθρώπινο σώμα και μεταφέρουν τον ήχο διαμέσου της κοιλότητας του μέσου αυτιού.



8. Microfluidics: Ολοκληρωμένα μικροchip, επιτρέπουν διαχωρισμούς, χημικές αντιδράσεις και αναλυτικές μετρήσεις να λαμβάνουν χώρα με τη χρήση πολύ μικρών ποσοτήτων του δείγματος προς εξέταση (όπως αίμα ή μολυσμένα δείγματα από το περιβάλλον π.χ. νερό, αέρια). Αυτή η τεχνολογία οδηγεί σε εφαρμογές όπως η κλινική διάγνωση (συμπεριλαμβανομένου του καρκίνου) και της γεωμορφολογικής-περιβαλλοντικής εικόνας μιας απομακρυσμένης περιοχής. Τα συστήματα LOC επιτρέπουν την διαχείριση, τη διάλυση, την ανάμειξη, τον ηλεκτροφορικό και χρωματογραφικό διαχωρισμό και την ανίχνευση των μικροσυστημάτων. Είναι απλά στο σχεδιασμό, φορητά, οικονομικά, εύχρηστα και πολυμήχανα.

9. Πρωτεΐνες: Όπως και οι μικροσυστοιχίες DNA, έτσι και οι μικροσυστοιχίες πρωτεϊνών επιτρέπουν την ταυτόχρονη ανάλυση χιλιάδων πρωτεϊνών σε ένα μόνο πείραμα. Οι μικροσυστοιχίες πρωτεϊνών παρέχουν ένα μέσο για εξονυχιστική έρευνα της πληθώρας των πρωτεϊνών και της λειτουργίας τους. Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει τη δημιουργία μικροσυστοιχιών αντιγόνων για την πρόοδο του εμβολιασμού και τη διάγνωση μεταδοτικών ασθενειών. Επιπλέον, όταν οι μικροσυστοιχίες εμποτιστούν με πρωτεΐνες παρέχουν το προφίλ αντιγόνων του καρκίνου επιτρέποντας έτσι τη βελτιωμένη θεραπεία των ασθενών.

10. Βιοσυμβατότητα: Ο έλεγχος βιοσυμβατότητας απαντά δύο θεμελιώδη ερωτήματα. Εάν είναι το υλικό ασφαλές και εάν έχει τις απαραίτητες φυσικές και μηχανικές ιδιότητες ώστε να ανταπεξέλθει στη λειτουργία που προορίζεται.

11. Κρανιακές βλάβες: Μέτρηση πίεσης στο εσωτερικό του κρανίου

12. Εμβιομηχανική χόνδρου: Εδώ γίνεται εφαρμογή των αρχών της βιολογίας και της μηχανικής με σκοπό την ανάπτυξη βιώσιμων υποκατάστατων τα οποία αποκαθιστούν, διατηρούν ή βελτιώνουν τη λειτουργία του ανθρώπινου χόνδρου.

13. Σπονδυλική στήλη: Ενσωματωμένο εμφύτευμα που μπορεί να επαναφέρει την δυνατότητα της κίνησης σε άτομα με τραυματισμούς στην σπονδυλική στήλη.

14. Περιβάλλον: Ένα γονίδιο της πυγολαμπίδας προστίθεται στα θηλαστικά ώστε να λάμπουν τα κύτταρά τους όταν εκτεθούν στη διοξίνη*. Όσο η ποσότητα της διοξίνης αυξάνεται, τα κύτταρα λάμπουν ολοένα και περισσότερο. Αυτή η διαπίστωση δίνει στους επιστήμονες έναν γρήγορο και απλό έλεγχο των επιπέδων της διοξίνης στο περιβάλλον.

*: Οι διοξίνες είναι χημικές ουσίες ύποπτες για καρκινογένεσεις, ιδιαίτερα τοξικές για τον άνθρωπο και ανθεκτικές στην βιολογική αποικοδόμηση.

- Μία άλλη εφαρμογή χρησιμοποιεί κύτταρα θηλαστικών για να προβλέψει τη θανατηφόρο τοξικότητα των χημικών στους ανθρώπους.
- Οι περιβαλλοντολόγοι ενδιαφέρονται για την ανίχνευση και ταυτοποίηση βακτηρίων και παθογόνων. Έτσι, έχουν αναπτύξει μικροσυστήματα τα οποία συγκεντρώνουν συστατικά ειδικά για ορισμένα παθογόνα που τα απελευθερώνουν σε μια χρωματογραφική μονάδα ώστε τα συστατικά να μπορούν να διαχωριστούν. Τα συστατικά αυτά με τη σειρά τους θα τα κοινοποιούν σε μια ηχητική αισθητήρια επιφάνεια για να ταυτοποιηθούν. Αυτές οι συσκευές είναι φορητές και θα παρέχουν ταχεία ανίχνευση και έγκαιρη προειδοποίηση για την ύπαρξη παθογόνων στον αέρα ή το νερό.

15. Ζητήματα εθνικής ασφάλειας: Το 1995 το Υπουργείο Αμύνης των Η.Π.Α. χρησιμοποίησε 12 εφαρμογές των MEMS μερικές από τις οποίες είναι: επαρκή πυρομαχικά, πλοήγηση οχημάτων, ικανότητα γνώσης της θέσης κάποιου, αναγνώριση συμμάχων ή εχθρών, μαζική αποθήκευση δεδομένων. Επίσης, αισθητήρες μπορούν να προσαρμοστούν ώστε να εντοπιστεί μια σειρά βιολογικών και χημικών στόχων. Αυτό δίνει τη δυνατότητα σε επιλεγμένους, ακριβείς και οικονομικά αποδοτικούς αισθητήρες να

ανιχνεύουν, ταξινομούν και ταυτοποιούν. Στο μέλλον, για τη συνεχή επιτήρηση των παραμεθόριων περιοχών, ζώα πάνω στα οποία θα τοποθετούνται αισθητήρες, θα μπορούν να παρέχουν επίβλεψη μιας ευρείας εναέριας ή επίγειας περιοχής καθώς και γνώση ύπαρξης νερού ή εδάφους για χημική και βιολογική ανίχνευση. Η ένταξη των βιοϋλικών σε συσκευές MEMS θα μπορούσε να οδηγήσει στη βιοϊατρικά εμφυτεύματα χρήσιμα στην ανίχνευση βιολογικών παραγόντων, τοξικών ουσιών και μικροchip για το χειρισμό και την ανάλυση βιολογικών δειγμάτων.

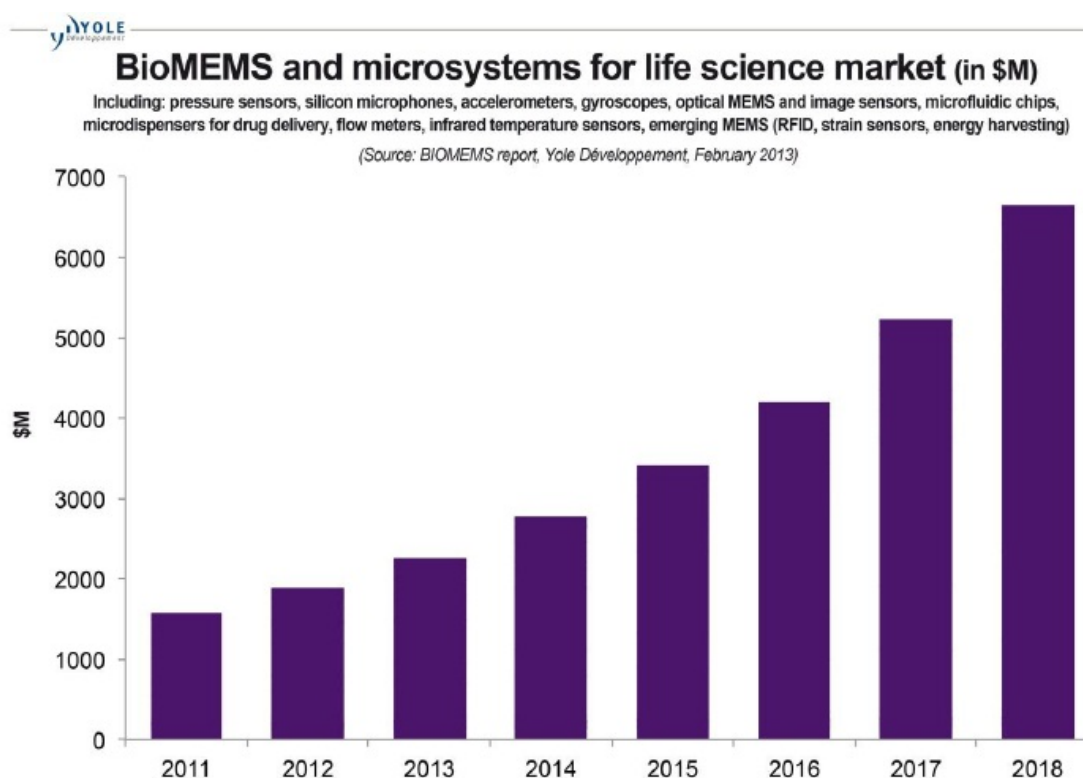
Νομοθεσία για τη βιοσυμβατότητα των BioMEMS κατά ISO 10933:

1. Επισκόπηση της γενικότερης αξιολόγησης και των ελέγχων.
2. Κοινωνική προστασία των ζώων.
3. Έλεγχοι γενετοξικότητας, καρκινογένεσης και αναπαραγωγής τοξικότητας.
4. Επιλογή των ελέγχων για αλληλεπίδραση με το αίμα.
5. Έλεγχοι για κυτταροτοξικότητα σε χημικό ελεγχόμενο περιβάλλον.
6. Έλεγχοι για "τοπικές" συνέπειες μετά τη μεταμόσχευση.
7. Αποστείρωση των εναπομενόντων αιθυλενοξειδίων.
8. Επιλογή και ποσοτικοποίηση των χρησιμοποιούμενων υλικών για τους διάφορους βιολογικούς ελέγχους.
9. Πλαίσιο για την ταυτοποίηση και ποσοτικοποίηση των πιθανών προϊόντων αποικοδόμησης.
10. Δοκιμές για ερεθισμό και μεταχρονισμένη υπερευαισθησία.
11. Δοκιμές για συστηματική τοξικότητα.
12. Προετοιμασία των δειγμάτων και χρησιμοποιούμενα υλικά.
13. Ταυτοποίηση και ποσοτικοποίηση των προϊόντων αποικοδόμησης από πολυμερικές ιατρικές συσκευές.
14. Ταυτοποίηση και ποσοτικοποίηση των προϊόντων αποικοδόμησης από κεραμικά.
15. Ταυτοποίηση και ποσοτικοποίηση προϊόντων αποικοδόμησης από μέταλλα και κράματα.
16. Σχεδιασμός τοξικο-κινητικής μελέτης για προϊόντα αποικοδόμησης και εκχυλίσιμες ουσίες.
17. Καθιέρωση επιτρεπόμενων ορίων για εκχυλίσιμες ουσίες.
18. Χημικός χαρακτηρισμός υλικών.
19. Φυσικο-χημικός, μηχανικός, μορφολογικός και τοπογραφικός χαρακτηρισμός των υλικών.
20. Αρχές και μέθοδοι για τον έλεγχο ανοσοτοξικολογικό έλεγχο των ιατρικών συσκευών.

Οικονομικά στοιχεία

Το μερίδιο που καταλαμβάνουν τα BioMEMS στην παγκόσμια αγορά, αναμένεται να φτάσει στα 6.6 δις εκατομμύρια δολάρια μέχρι το 2018, σύμφωνα με έρευνα της εταιρείας “Yole Développement” (Λυών , Γαλλία), το 2013. Τα BioMEMS έχουν κερδίσει την θέση τους στην αγορά της υγειονομικής περίθαλψης, καταρχήν γιατί βοηθούν στην βελτίωση της απόδοσης των συσκευών προς τους ασθενείς και εν συνεχεία γιατί παρέχουν ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα στους κατασκευαστές των συστημάτων.

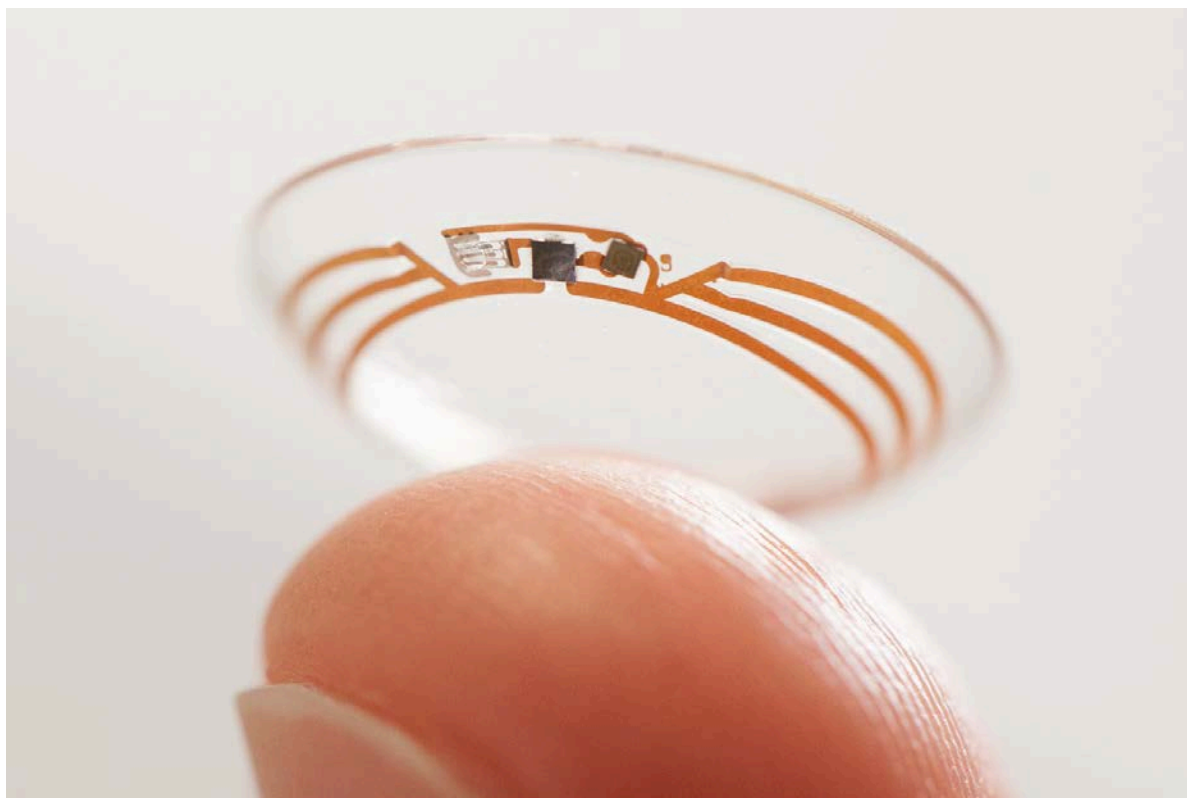
Τα BioMEMS μπορούν να διακριθούν ξεκάθαρα στους ακόλουθους τομείς της αγοράς της υγειονομικής περίθαλψης: φαρμακευτική, in-vitro διαγνώσεις, τις ιατρικές συσκευές και την κατ’ οίκον ιατρική περίθαλψη. Σύμφωνα με αναφορά της ίδιας εταιρείας ο κάθε τομέας απευθύνεται σε διαφορετικό κοινό και διαθέτει την δική της δυναμική στην αγορά της υγειονομικής περίθαλψης. Σε ότι αφορά την φαρμακευτική αγορά, η αποδοχή της χρήσης μικροσυστημάτων στοχεύει στην ευαισθησία και αυτοματοποίηση των περιορισμών που υπάρχουν, ενώ στις in-vitro διαγνώσεις στην φορητότητα και την μείωση του κόστους. Σε ότι αφορά τις ιατρικές συσκευές, στόχος είναι η βελτίωση και αύξηση των δυνατοτήτων τους, ενώ σε ότι αφορά την κατ’ οίκον ιατρική περίθαλψη, υπάρχουν ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια και την συνδεσιμότητα των μικροσυστημάτων, σύμφωνα πάντα με την ίδια εταιρεία.



Μελλοντικές Εφαρμογές: «Έξυπνος» φακός επαφής

Λαμβάνοντας υπόψη την όλο και αυξανόμενη απήχηση καθώς το μερίδιο της αγοράς που καταλαμβάνουν τα BioMEMS, δεν ήταν δυνατόν μεγάλες εταιρείες να μην συμβάλουν στην νέα τεχνολογική τάση. Για αυτό η “Google” ανακοίνωσε πρόσφατα την κατασκευή ενός “έξυπνου” φακού επαφής ο οποίος θα μετράει την γλυκόζη στο αίμα αυτού που τον φοράει μέσω των δακρύων. Με αυτόν τον τρόπο, διαβητικοί θα βοηθούνται στο να ελέγχουν τα επίπεδα σακχάρου στο αίματος τακτικά, χωρίς να υπάρχει ανάγκη για λήψη δείγματος αίματος, όπως συμβαίνει μέχρι σήμερα.

Ο διαβήτης είναι μια ασθένεια που αυτή την στιγμή προσβάλλει περίπου 1 στους 19, ενώ μέχρι το 2035 αναμένεται 1 στους 10 ανθρώπους να πάσχει από διαβήτη. Τα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα, μπορούν να αλλάξουν με καθημερινές δραστηριότητες, οποιαδήποτε στιγμή, όπως την άσκηση, το φαγητό ή ακόμη και την εφίδρωση, για αυτόν τον λόγο κρίνεται αναγκαία να παρακολουθείται σε τακτική βάση. Με την χρήση του “έξυπνου” φακού επαφής θα μπορεί να γίνεται αυτό “ανώδυνα” καθώς μέχρι τώρα ο διαβητικός πρέπει να τρυπάει το δάκτυλο του για να λάβει δείγμα από το αίμα του. Καιρό οι επιστήμονες μελετούν πως μπορούν να λαμβάνουν τέτοιες μετρήσεις με διαφορετικούς τρόπους από την λήψη δείγματος αίματος, όπως από τα δάκρυα και αυτός ο φακός επαφής πολύ πιθανόν να βοηθήσει πολλούς διαβητικούς όταν και αν ολοκληρωθεί όπως προβλέπεται.



Μελλοντικές Εφαρμογές: «Έξυπνα» ρολόγια χειρός

Εκτός από τον “έξυπνο” φακό επαφής, πολλές εταιρείες κατασκευής “έξυπνων” κινητών τηλεφώνων και όχι μόνο, έχουν ήδη προχωρήσει στην κατασκευή “έξυπνων” ρολογιών χειρός. Τα ρολόγια αυτά, έχουν την δυνατότητα σύνδεσης με την “έξυπνη” κινητή συσκευή τηλεφώνου για αύξηση και καλύτερη παρακολούθηση των δυνατοτήτων τους. Εκτός από τις ενημερωτικές και ψυχαγωγικές ιδιότητες που ήδη έχουν σε πρώιμο στάδιο, αναμένεται να αποκτήσουν περισσότερες δυνατότητες σχετικά με την παρακολούθηση της υγείας του χρήστη. Το ρολόι χειρός αποτελεί ένα αξεσουάρ καθημερινής χρήσης από την πλειοψηφία του κόσμου, οπότε δίνοντας σε κάτι που ήδη χρησιμοποιείται επιπλέον δυνατότητες, ιδιαίτερα όταν αυτές βοηθάνε στην πρόληψη και διατήρηση της καλής υγείας του ατόμου, μόνο ως θετικό βήμα μπορεί να χαρακτηριστεί. Τα δεδομένα που αναμένεται να μπορούν να μετρούν αυτά τα ρολόγια είναι ο καρδιακός παλμός καθώς και πιθανόν διάφορες άλλες πληροφορίες από το δέρμα, όπως θερμοκρασία, στοιχεία από την εφίδρωση και διάφορα άλλα. Επίσης η δυνατότητα σύνδεσης με “έξυπνο” κινητό τηλέφωνο (και κατ’ επέκταση με υπολογιστή) θα εξυπηρετεί ιδανικά την καταγραφή των αποτελεσμάτων για μελλοντική χρήση ή παρακολούθηση. Το γεγονός ότι πολλές εταιρείες ασχολούνται με τη συγκεκριμένη νέα τεχνολογία αποδεικνύεται χρήσιμο καθώς ο αυξημένος ανταγωνισμός θα βοηθήσει στην ταχεία ανάπτυξη και συνεχόμενη βελτίωση των δυνατοτήτων τους.

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

- <http://en.wikipedia.org>
- <http://spie.org>
- <http://biotech-ntua.wikispaces.com>
- <http://www.tc.umn>
- <http://www.drsaliterman.com>
- <http://www.biomemsrc.org>
- <http://scme-nm.org>
- <http://www.sii.co.jp>
- <http://www.memsjournal.com>
- <http://www.azonano.com>
- <http://www.uminho.pt>
- <http://dspace.lib.ntua.gr>
- <http://www.ipet.gr>
- <http://nemertes.lis.upatras.gr>
- <http://scme-nm.org>
- <http://mecha.skku.ac.kr>
- <http://www.neurocenter.gr>
- <http://www.iatronet.gr>
- <http://www.ncbi.nlm.nih.gov>
- <http://www.eetimes.com/>
- <http://www.yole.fr/>
- <http://googleblog.blogspot.gr/>
- <http://www.foxnews.com>
- <http://courseware.mech.ntua.gr>